



Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

EXKURSIONS- FÜHRER München 2015

DBG • Band 117 • 2015 • ISSN – 0343-1071

Schriftleitung: K. Auerswald, München und Chr. Ahl, Göttingen

DBG Mitteilungen Band 117

Schriftleitung

Prof. Dr. Karl Auerswald

Lehrstuhl für Grünlandlehre
Technische Universität München
Alte Akademie 12
85350 Freising
auerswald@wzw.tum.de

Dr. Christian Ahl

DBG Geschäftsstelle
Am Bärenberg 70
37077 Göttingen
dbg@dbges.de

ISSN – 0343-1071



HelmholtzZentrum münchen

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen
Gesellschaft 2.-10. September 2015, München



Diego Delso, Wikimedia Commons, CC-BY-SA

Unsere Böden – Unser Leben

Exkursionsführer

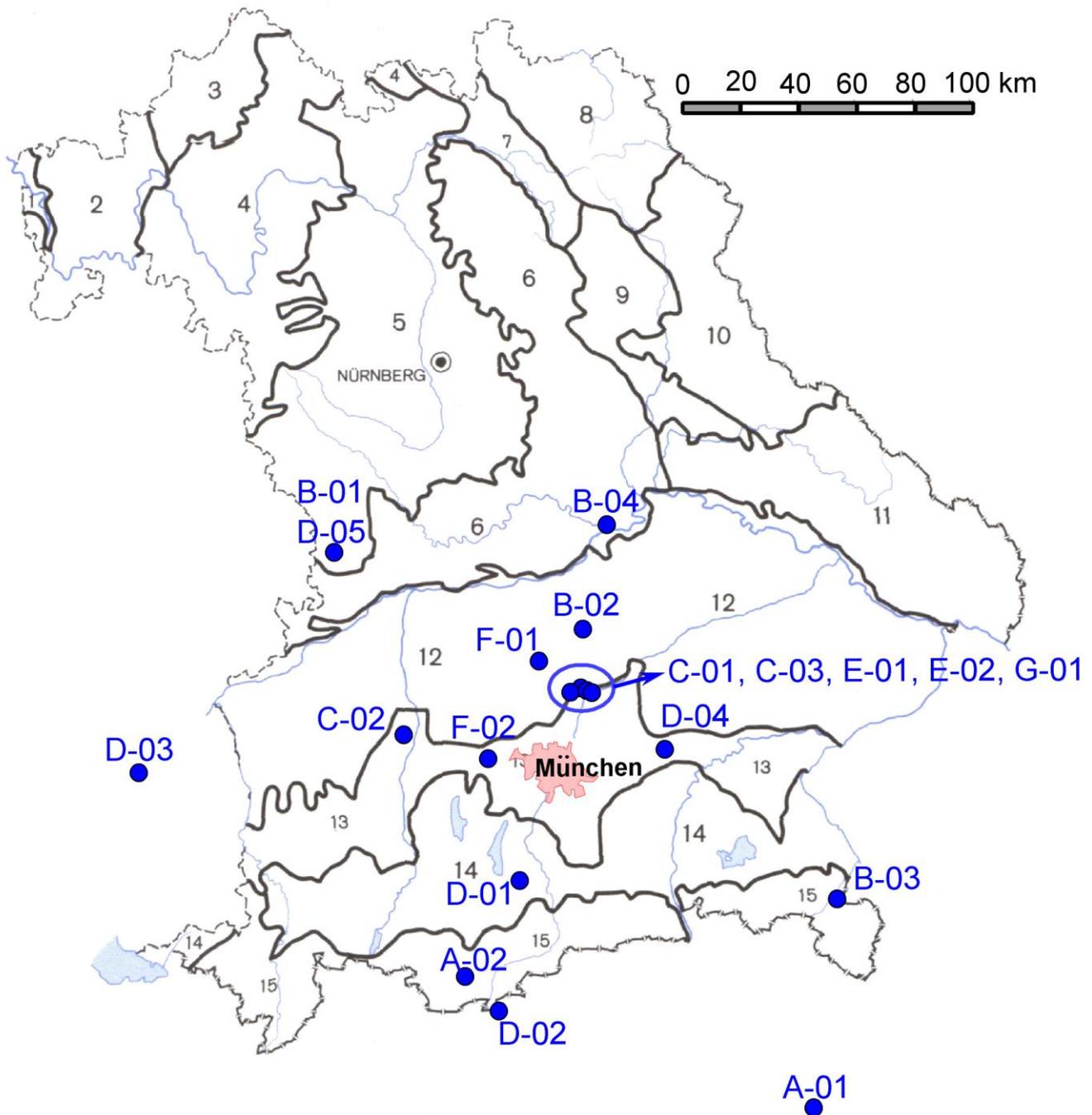
Tagungsveranstalter und Danksagung

Die Tagung wird veranstaltet von der **Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft** in Zusammenarbeit mit dem **Helmholtz Zentrum München** (Prof. Dr. *Jean Charles Munch*, Institut für Bodenökologie), der **Ludwig Maximilians Universität München** (Prof. Dr. *Carola Küfmann*, Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie) und der **Technischen Universität München**, Weihenstephan (Prof. Dr. *Karl Auerswald*, Lehrstuhl für Grünlandlehre).

Die Veranstalter bedanken sich herzlich bei den folgenden Institutionen und deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die sich an der Vorbereitung und Durchführung der Exkursionen beteiligten:

- Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (A. Baumgarten)
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Agrarökologie (R. Beck, R. Brandhuber, R. Rippel, R. Walter)
Arbeitsgruppe Hopfenbau (T. Graf, H. Portner)
- Bayerische Landesanstalt für Wald und Forst
Abteilung Boden und Klima (C. Kölling, W. Weis, A. Schubert, L. Zimmermann)
- Bayerisches Landesamt für Steuern (C. Hirsch)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (G. Doppler, R. Jochum, W. Martin, R. Traidl)
- Deutscher Wetterdienst (H. Maier)
- Helmholtz-Zentrum München-Neuherberg, Institut für Bodenökologie (E. Priesack, K. Pritsch)
- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Fachgebiet Vegetationsökologie (M. Drösler)
Fachgebiet Botanik und Vegetationskunde (J. Ewald)
Fachgebiet Forstliche Bodenkunde (C. Lorz)
- Karlsruhe Institute for Technology, Institut für Meteorologie und Klimaforschung (J. Hommeltenberg, H.-P. Schmid)
- Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (N. Roszkopf)
- Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft (A. Baumgarten)
- Technische Universität Graz, Institut für Angewandte Geowissenschaften (O. Nestroy)
- Technische Universität München
Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt (E. Kolb, A. Göttlein)
Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie (J. Geist)
Lehrstuhl für Bodenkunde (P. Schad)
Lehrstuhl für Pflanzenernährung (K. Heil, S. Kipp, P. Rischbeck, U. Schmidhalter, S. v. Tucher)
Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen (K.-H. Häberle, R. Matyssek)
Lehrstuhl für Renaturierungsökologie (J. Pfadenhauer)
Lehrstuhl für Waldwachstumskunde (R. Mooshammer, H. Pretzsch, T. Rötzer)
- Universität Augsburg, Institut für Geographie (K-F. Wetzel, P. Fiener, S. Grashey-Jansen, M. Heel)
- Universität Bern, Geographisches Institut (R. Zech)
- Universität Erlangen-Nürnberg, Institut für Geographie (C. Mayr)
- Universität für Bodenkultur, Wien (A. Hromatka, E. Brauner)
- Universität Graz, Institut für Raumforschung (O. Sass)
- Universität Hohenheim
Institut für Bodenkunde und Standortlehre (K. Stahr, L. Hermann)
Fachgebiet Landschaftsökologie und Vegetationskunde (R. Böcker)
- Universität München, Department für Geographie und Landschaftsökologie (C. Mix)

Die Überprüfung der Bodenbeschreibungen nach der derzeit gültigen Kartieranleitung übernahmen Dr. G. Milbert, Dr. R. Jochum und Kollegen.



Exkursionsziele – die Grenzlinien und zugehörigen Nummern bezeichnen die Großlandschaften nach Wittmann (1991)

- | | |
|---|--|
| 1 Rhein-Main-Niederung | 9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland |
| 2 Spessart, Odenwald | 10 Oberpfälzer Wald |
| 3 Rhön | 11 Bayerischer Wald |
| 4 Fränkische Platten | 12 Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal |
| 5 Fränkisches und Schwäbisches Keuper-Lias-Land | 13 Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft |
| 6 Fränkische und Schwäbische Alb | 14 Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molasservorberge |
| 7 Obermain-Schollenland | 15 Bayerische Alpen |
| 8 Frankenwald, Fichtelgebirge und Vogtland | |

Wittmann O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern. Übersichtskarte 1:1000000 und Abhängigkeitsbeziehungen der Bodennutzung. GLA-Fachberichte 5, 73 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeiner Teil

1.1	Einführung: München und der Exkursionsraum Bayern (C. Küfmann)	7
1.2	Zum Klima in den Regierungsbezirken Schwaben, Oberbayern und Niederbayern (H. Maier)	12
1.3	Geologie und Böden in Bayern (W. Martin, R. Jochum, R. Traidl)	22
1.4	Vegetation (J. Pfadenhauer)	28
1.5	Die Landwirtschaft in Südbayern (R. Rippel)	39
1.6	Forstliche Bodennutzung in Südbayern (C. Kölling)	43
1.7	Hydrologie in Südbayern (L. Zimmermann)	47
1.8	Sprachliche Besonderheiten des Exkursionsraumes – nicht ganz ernst gemeint (K. Auerswald)	52

2. Exkursionsbeschreibungen

A) Mehrtagesexkursion

A-01:	Böden und Landschaften im Bereich des Großglockners (O. Nestroy)	57
A-02:	Boden-, Standorts- und Vegetationsentwicklung auf unterschiedlichen Substraten der subalpinen und montanen Stufe im Wetterstein- und Ammergebirge (E. Kolb, A. Göttlein, J. Ewald)	70

B) Ganztagesexkursionen Samstag

B-01:	Der Meteoritenkrater "Nördlinger Ries" (K. Stahr, R. Böcker, R. Jochum)	84
B-02:	Hopfenland Hallertau: Hopfenanbau - Böden - Erosionsschutz (R. Brandhuber, J. Portner, T. Graf, R. Walter)	100
B-03:	Karstmorphologie und Bodengenese am Untersbergplateau (C. Küfmann, C. Mix)	109
B-04:	Waldböden des Oberpfälzer Juras, Waldwachstum, Biomassenutzung und Umweltmonitoring (C. Kölling, H. Pretzsch, R. Moshammer, W. Weis, L. Zimmermann, A. Schubert)	119

C) Ganztagesexkursionen Sonntag

C-01:	Waldböden des Bayerischen Tertiärhügellandes, Standortinformationssystem und Umweltmonitoring (C. Lorz, C. Kölling, A. Schubert)	127
C-02:	Löss und Paläoböden in Bobingen – Eine geochemische Reise in die letzte Eiszeit (R. Zech, C. Mayr, G. Doppler)	139
C-03:	Genese, Eigenschaften und ökologische Bedeutung von Unterwasserböden – die Moosach in der Münchner Schotterebene (K. Auerswald, J. Geist)	149

D) Ganztagesexkursionen Donnerstag

D-01:	Klimarelevanz von Hochmooren am Alpenrand: Standort, Vegetation, Nutzung und Treibhausgasemissionen der ICOS-Standorte Mooseurach bei Königsdorf und Schechenfilze bei Seeshaupt (M. Drösler, N. Roskopf, J. Hommeltenberg, J. Eberl, S. Adhikari, H.P. Schmid)	158
-------	---	-----

D-02: Raummuster (hoch-)alpiner Standorte als Resultat landschaftsdynamischer Prozesse (K.-F. Wetzels, P. Fiener, S. Grashey-Jansen, M. Heel, O. Sass)	170
D-03: Böden und Landschaft auf tertiären Sedimenten der Schwäbischen Alb und Oberschwabens zwischen Ulm und Riedlingen (P. Schad, L. Herrmann)	179
D-04: Musterstücke der Bodenschätzung bei München (C. Hirsch)	194
D-05: Meteoric crater of „Nördlinger Ries“(K. Stahr, R. Böcker, R. Jochum)	201

E) Halbtagesexkursionen Samstag

E-01: Experimenteller Trockenstress in einem Buchen-Fichten-Mischbestand (KROOF) (K.-J. Häberle, T. Rötzer, K. Pritsch, R. Matyssek)	202
E-02: Boden- und Pflanzensensorik sowie Trockenstressversuche auf Ackerflächen im Tertiärhügelland nördlich von München (K. Heil, P. Rischbeck, S. Kipp, S. von Tucher, U. Schmidhalter)	207

F) Halbtagesexkursionen Sonntag

F-01: TERENO-Forschungsstation Scheyern: Erfassung der Klimaänderung und ihrer Wirkung auf Interaktionen zwischen Agrarökosystemen und Atmosphäre (E. Priesack)	213
F-02: Landwirtschaftliche Dauerversuche auf lösslehmbedeckter Altmoräne bei Fürstenfeldbruck (R. Brandhuber, R. Walter, R. Beck)	216

G) Halbtagesexkursionen Donnerstag

G-01: Boden- und Pflanzensensorik sowie Trockenstressversuche auf Ackerflächen im Tertiärhügelland nördlich von München (K. Heil, P. Rischbeck, S. Kipp, S. von Tucher, U. Schmidhalter)	224
--	-----

1. Einführung: München und der Exkursionsraum Bayern

Carola Küfmann¹

¹ Department für Geographie und Landschaftsökologie, Luisenstraße 37, 80333 München

1.1 München – Fakten, Zahlen

Die kreisfreie Stadt München (310,7 km²) in Oberbayern ist die Landeshauptstadt und verfügt über 1.407.836 Mio. Einwohner bei einer Einwohnerdichte von 4800 EW/km² (Stand: 31.10.2014). München (bairisch: Minga) gliedert sich heute in 25 Stadtbezirke. Dabei umfasst der Bezirk Altstadt ungefähr das zwischen Mittelalter und Ende des 18. Jahrhunderts befestigte Gebiet des historischen Stadtkerns. Zahlreiche Grün- und Parkanlagen wie der Englische Garten (Anlage: 1789-1793 durch die Grafen Rumford) oder Landschaftsschutzgebiete (z.B. Isarauen) und Naturschutzgebiete (z.B. Panzerwiese) sorgen zusammen mit den z.T. gürtelförmig angelegten Waldgebieten (z.B. Forstenrieder Park, Perlaicher Forst) für weitreichende, interne oder periphere Erholungsgebiete. Der Münchner Dialekt zählt als mittelbairische Mundartgruppe zu den aussterbenden Dialekten (Bayerisches Kultusministerium 2001). Prägende Stadtbauphasen sind der spätgründerzeitliche Städtebau (1880-1910), der Städtebau der Zwischen- und direkten Nachkriegszeit und die Phase nach 1956. Die starken Kriegszerstörungen haben das Ausgangsbild und auch die Funktionen von Gebäuden oder gar ganzer Stadtviertel stark verändert. So wurde mit dem Wachstum der Stadt und der Ausdehnung der City Wohnraum in gewerbliche Nutzung überführt. Entsprechend haben sich neue Siedlungen, Wohnviertel und auch Villenviertel peripher um die Stadt verteilt (z.B. sog. Gartenstädte). Frühere abgewirtschaftete Arbeiterviertel (z.B. Westend, Haidhausen, Schlachthof, Glockenbach) gehören nach umfangreichen Sanierungsmaßnahmen heute zu den exklusiven und völlig überbeuerten Wohnvierteln. Unser Tagungsort, die Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), ist nach ihren Gründern Herzog Ludwig IX. und König Maximilian I. Jo-

seph benannt. Sie wurde 1472 gegründet und war lange Zeit in Ingolstadt und Landshut angesiedelt, bevor sie nach München kam. Heute ist sie die zweitgrößte Universität in Deutschland und hat als Eliteuniversität 34 Nobelpreisträger hervorgebracht. Die Konzentration von Bildungs- und Forschungseinrichtungen (z.B. Technische Universität München TUM, LMU, Fachhochschule München) bei entsprechend guter Arbeitsplatzsituation bedingt starke Zuwanderströme aus dem gesamten Bundesgebiet.

Der Landkreis München grenzt im N, E und S an die Stadt München und ist bezogen auf die Einwohnerzahl (329.981, Einwohnerdichte: 495 EW/km²) der größte im Freistaat.

Daran grenzen folgende Landkreise, die teilweise auch Exkursionsgebiet sind: Dachau, Freising, Erding, Ebersberg, Rosenheim, Miesbach, Bad Tölz-Wolfratshausen, Starnberg und Fürstenfeldbruck.

1.2 München – Naturraum

Die Stadt (48°13'N/11°58'E; 519 m ü.NN) wird von der Isar auf einer Länge von ca. 14km von SW nach NE durchflossen. Aus Westen fließt die Würm ein, die den Starnberger See (früher: Würmsee) im Süden entwässert. Das mehrphasige Einschneiden der Isar in den quartären Untergrund bedingt heute die typischen Terrassenniveaus innerhalb der Stadt (Abb. 1).

So liegt z.B. die Altstadt auf der sog. Altstadtterrasse und etwas tiefer gelegenen Hirschau-Terrasse. Entsprechend verläuft die Hangkante entlang Rosental, Viktualienmarkt, Sparkassenstraße und Marstallplatz und trennt den oberen vom unteren Hofgarten (Gallas 1974). Im Süden der Stadt hat die Isar dann cañonartig unter Bildung von Steilufeln eingeschnitten. Diese sind heute zunehmend von gravitativen Massenbewegungen betroffenen, die an den calzitisch verbackenen Nagelfluhen (Hoch-

terrassenschotter, Deckenschotter) ansetzen. Der Durchbruch der Isar durch den Altmoränenkomplex liegt noch weiter südlich bei Baiernbrunn. Dort bis nach Buchenhain liegen be-

deutende Typlokalitäten zur pleistozänen Eiszeitengliederung von Albrecht Penck (Schaeffer 1989).

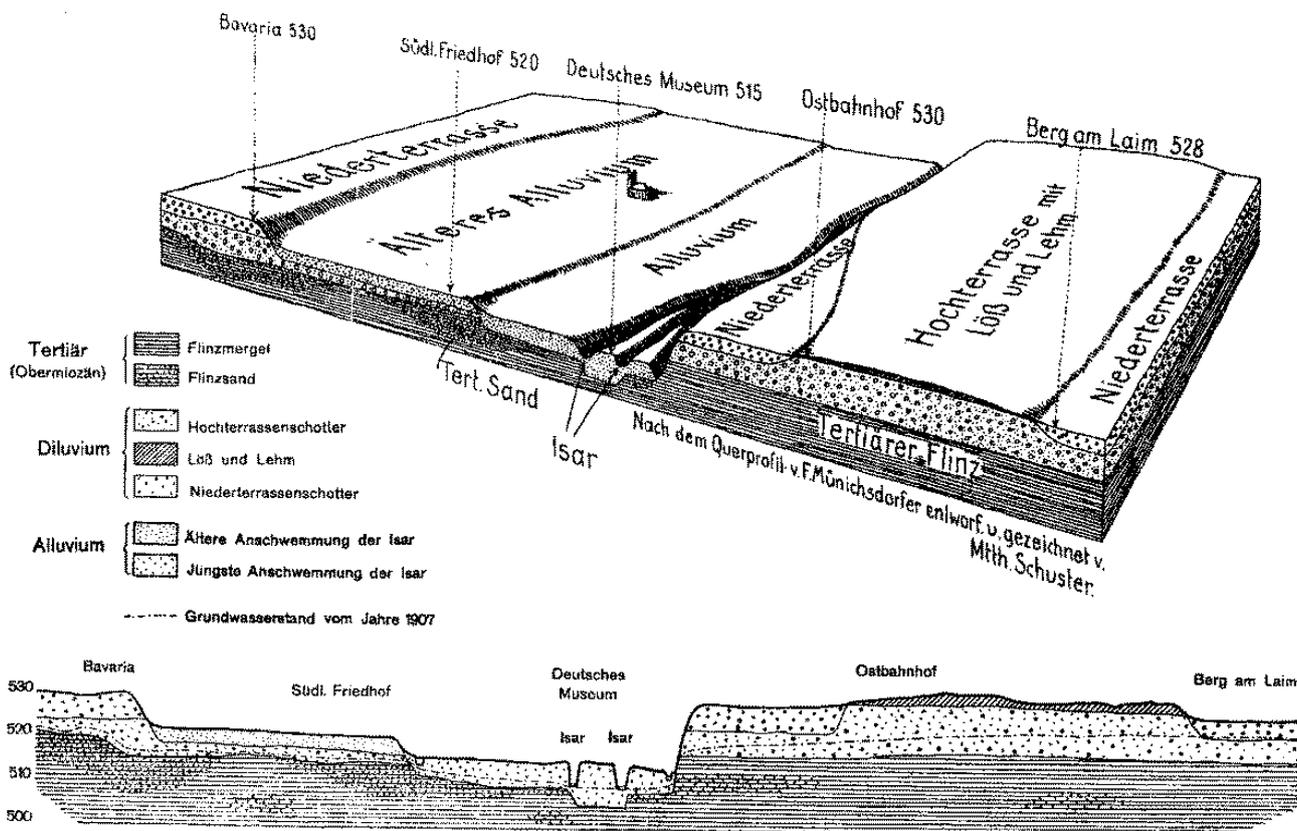


Abb. 1: Blockbild und West-Ost-Profil durch den Untergrund von München. Den Untergrund bilden tertiäre Mergel und Glimmersande der Oberen Süßwassermolasse; aus diesen Flinzsandlinsen entnehmen die Münchner Brauereien ihr Wasser. Darüber folgen die Schotter der Riß- und Würm-Eiszeit (Hoch- und Niederterrasse). Die Hochterrasse wurde durch die würmeiszeitlichen Gletscherbäche z.T. ausgeräumt und mit Niederterrassen-Schottern zugedeckt. Nur östlich der Isar ist eine Hochterrassen-Insel erhalten geblieben. Ihre mächtige Lößlehmdecke aus der Würm-Eiszeit lieferte den Rohstoff für die Münchener Ziegeleien (von Berg am Laim bis Ismaning). Neben Ziegeln wurden auch die irdenen Maßkrüge (»Keferloher«) daraus gefertigt. Am Ende der letzten Eiszeit hat sich die Isar in die Niederterrasse eingeschnitten und die Altstadt-Stufe (»Älteres Alluvium«) aufgeschottert. In gleicher Weise wurde nachher die Auen-Stufe (»Alluvium«) gebildet (aus Meyer & Schmidt-Kaler 1997, S. 62).

Von großer Bedeutung für die Entwicklung der Stadt München ist ihre Lage auf der Münchner Schotterebene (ca. 1500 km²), deren glazifluvialen Sedimentkörper nach NE von 700 m ü.NN auf 400 m ü.NN abdachen. Mit abnehmender Sedimentmächtigkeit liegt der Grundwasserkörper oberflächennah, wodurch sich entlang der Quellhorizonte (Fontanilli-Zone) bedeutende Niedermoorflächen (z.B. Dachauer, Freisinger und Erdinger Moos) gebildet haben. Hydrologische Aquifer-Funktion kommt

den aufbauenden quartären Kiesen, glazifluvialen Schotter und Sanden zu, die über Tertiär der oberen Süßwassermolasse (Aquiclud: Flinz, Flinzmergel, Tone) die Grundwasserströme für die Trinkwassernutzung im süddeutschen Raum bedingen. Im Zusammenhang mit der hohen Durchlässigkeit der Schotter sind im Süden auf meist Pararendzina-Braunerde-Gesellschaften die großen Forstgebiete der Stadt München entstanden (z.B. Forstenrieder Park, Perlacher Forst).



Abb. 2: Verwaltungsgliederung von Bayern (www.bayern.de)

1.3 Bayern – Fakten, Zahlen

Bayern (47° 16' bis zu 50° 34'N / 8° 58' bis 13° 50' E) liegt im Südosten der Bundesrepublik Deutschland und grenzt an folgende Bundesländer und Nachbarstaaten: Thüringen (N), Sachsen (NE), Tschechien (E), Österreich (S und SE), Baden-Württemberg (W), Hessen (NW). Mit einer Landesfläche von 70.550,19 km² und einer Einwohnerzahl von 12.604 Mio. (12.519.571; Stand: 31.12.2012) bei einer Dichte von 179 Einwohnern pro km² ist Bayern hinter Nordrhein-Westfalen das zweitgrößte deutsche Bundesland (Stand: 31.12.2013; Bayer. Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung; www.statistik.bayern.de). Der Freistaat Bayern gliedert sich in Bezug auf die innere Verwaltung in folgende

sieben Regierungsbezirke mit korrespondierenden Landeshauptstädten: Oberbayern (München), Niederbayern (Landshut), Oberpfalz (Regensburg), Oberfranken (Bayreuth), Mittelfranken (Ansbach), Unterfranken (Würzburg), Schwaben (Augsburg) (Abb. 2).

Bayern liegt fast gänzlich im oberdeutschen Sprachraum und teilt sich historisch in die drei Regionen **Franken** (Regierungsbezirke Ober-, Mittel- und Unterfranken), **Schwaben** (gleichnamiger Regierungsbezirk) und **Alt-bayern** (Regierungsbezirke Oberpfalz, Ober- und Niederbayern).

1.4 Bayern – Naturraum

Die Gliederung des Naturraums ist angelehnt an die geologisch-tektonisch bedingten Groß-

landschaften (Lagally et al. 2011; Meyer & Schmidt-Kaler 1997; 2002; Details und Spezialkarten s. Kap. 2 ff).

Alpen im Süden: Bayern hat regionalgeographisch Anteil an den Nördlichen Ostalpen (Graßler 1984). Wichtige großtektonische Baueinheiten der Alpen sind von N nach S die aufgerichtet und subalpine Faltenmolasse (Tertiär), Helvetikum und Flysch (Kreide) sowie die kalkalpinen Decken der Nördlichen Kalkalpen (Mesozoikum). Morphotektonisch stellen die Alpen ein Falten- und Deckengebirge dar (Dongus 1984). Wichtige Gebirgsgruppen sind von W nach E: Allgäuer Alpen (Hochfrottspitze 2649 m ü. NN), Ammergauer Alpen (Kreuzspitze 2185 m), Wettersteingebirge (Zugspitze 2962 m), Bayerische Voralpen (Krottenkopf 2086 m), Karwendelgebirge (östl. Karwendelspitze 2538 m), Chiemgauer Alpen (Sonntagshorn 1961 m) und Berchtesgadener Alpen (Südspitze Watzmann 2713 m). Die Zugspitze (2962 m) im Lkr. Garmisch-Partenkirchen stellt die höchste Erhebung Deutschlands dar. Die Morphodynamik am Beispiel des Wettersteingebirges ist in der alpinen (1980 m bis 2350 m) und subnivalen Stufe (2600 m bis 2962 m) durch physikalische Verwitterung unter Produktion von Frostschutt geprägt. Die Verlagerung von Material im Steilwandbereich der hochaufragenden Bergketten durch gravitative Massenprozesse (Berg-, Felsstürze) bedingt im Akkumulationsbereich mächtige Schutthalden.

Besondere Bedeutung hat die chemische Lösungsverwitterung, die in allen Höhenstufen Karstformen erzeugt. Dabei ist der nackte Hochkarst auf den tertiären Hochflächenresten innerhalb der gehobenen Kalkmassive am besten erhalten. Wichtige Beispiele hierfür sind von W nach E: Koblat, Hoher Ifen (Allgäuer Alpen); Zugspitz- und Leutascherplatt (Wettersteingebirge); Reiteralpe, Lattengebirge, Untersberg, Steinernes Meer (Berchtesgadener Alpen). Zahlreiche Höhlen prägen den Karstuntergrund (Langenscheidt 2009). Der Riesending-Schachthöhlenkomplex im Untersberg (Berchtesgadener Alpen) ist mit einer Tiefe von 1148 m und mehr als 19,2 km Länge die derzeit tiefste und längste bekannte Höhle Deutschlands (ARGE Bad Cannstatt

e.V.; www.lehmpfuhl.org). Das wechselhafte Relief bedingt ein Mosaik an organogenen (z.B. Folic und Dystric Histosols bzw. O/C-Böden) und mineralischen Hochgebirgsbodentypen (z.B. Rendzic Leptosols, Calcaric Regosols, Chromic Cambisols bzw. Terra fusca-Rendzina, Rendzina-Terra fusca, flachgründige Terra fusca) (Küfmann 2008a). Pedologische Besonderheiten stellen dabei Bodenkomplexe der genetischen Substratfolge „äolische Deckschicht über Residualton aus der Kalksteinverwitterung“ dar. Sie sind an periglaziale Deckschichten gebunden und kommen besonders auf den Karsthochflächen im Wettersteingebirge und den Berchtesgadener Alpen zwischen 1500 m und 2250 m vor. Äolische Dynamik modifiziert die Pedogenese auch rezent durch Eintrag von allochthonen Mineralstäuben (Küfmann 2008b).

Alpenvorland: Das sich nach Norden anschließende Alpenvorland wird von der Donau begrenzt und ist als süddeutsches Vereisungsgebiet in den Grundzügen seiner glazialen und glaziofluvialen Dynamik (glaziale Serie nach A. Penck) das Pendant zum norddeutschen Tiefland. Verantwortlich für die intensive pleistozäne Prägung waren die z.T. über die bayerischen Grenzen hinausgreifenden pleistozänen Vorlandgletscher von W nach E: Rheintal-, Iller-Lech-, Isar-Loisach-, Inn-Chiemsee-, Saalach-Salzach-, Traun-Enns-Gletscher (Jerz 1996). Akkumulationsformen der Alt- und Jungmoränenlandschaft sowie glaziale Zungenbeckenseen (z.B. Ammersee, Starnberger See, Chiemsee) sind ebenso wie die Eiszerfallslandschaften (z.B. Typlokalitäten Osterseen / Starnberger Lobus, Eggstätter Seenplatte / Inn-Chiemseegletscher) dem tertiären Untergrund der Molasse als Füllung des süddeutschen Molassebeckens aufgesetzt. Des weiteren reliefprägend sind die in die alpidische Tektogenese einbezogene subalpine Faltenmolasse (z.B. Murnauer Mulde) sowie die aufgerichtete Molasse. Letztere stellt nicht nur den morphotektonischen Alpenrand dar, sondern auch glazial heraus präparierte Härtlingsrippen aus meist verbackenen Konglomeraten der Oberen Süßwassermolasse. Diese Höhenzüge (sog. Riedellandschaften) oder iso-

lierteren Erhebungen (z.B. Hoher Peißenberg, 988 m, Ldkr. Weilheim-Schongau, Pfaffenwinkel; Irschenberg 730 m, Ldkr. Miesbach) tragen zusätzlich zur Kleinkammerung des lebhaften Reliefs im Übergang zur ungefalteten Vorlandmolasse bei.

Tertiär-Hügelland: Dieser mittlere und östliche Bereich des süddeutschen Molassebeckens ist eingebettet zwischen der Malmtafel im N, dem Grundgebirge des Bayerischen Waldes im NE und den glazialen Landschaften im S und SE (Iller-Lech-Schotterplatten, Süddeutsches Moränenland). Periglaziale Dynamik während des Pleistozäns bedingte mächtige Lössaufwehungen, auf denen heute die fruchtbaren Parabraunerde-Braunerde-Gesellschaften der niederbayerischen Gäubodenlandschaft agrargeographisch die größte Bedeutung haben. Hier finden sich überregional bedeutende Standorte für z.B. Zuckerrübe (Südzucker Plattling Lkr. Deggendorf), Mais und Hopfen (Hallertau).

Südwestdeutsches Schichtstufenland: Diese Einheit der süddeutschen Großscholle erstreckt sich von der Donau bei Regensburg bis nach Aschaffenburg an die Grenze zu Hessen. Im Wesentlichen sind damit die geographischen Räume der großen Karstgebiete der Schwäbischen und Fränkischen Alb, getrennt durch den Meteoriteneinschlagskrater (Tertiär) des Nördlinger Ries, verstanden. Die intensive Verkarstung mit ausgeprägtem Formenschatz des ober- und unterirdischen Karstes (z.B. Doline, Karren, Höhlensysteme) ist auf die hohe Löslichkeit einiger mesozoischer Kalksteine (z.T. sehr reine Kalksteine, Jura und Malm) zurückzuführen. Neben den rezenten Formen wird auch fossiler Karst mit entsprechendem Bodeninventar (z.B. Chromic Cambisols; fossile Terrae calcis) diskutiert (Pfeffer 1986).

Nordost- und ostbayerische Grundgebirge, Spessart (NW-Teil): Metamorphe und magmatische Gesteine des Grundgebirges (variskische Gebirgsbildung) prägen als Einheiten der Mitteldeutschen Kristallinschwelle (Saxothuringikum) und des Moldanubikums die Landschaft. Im Frankenwald und in Teilen des Fichtelgebirges existieren dagegen nicht

bis nur schwach metamorphe paläozoische Gesteine. Entsprechend der Gesteinsvielfalt ist hier die Bodengesellschaft besonders abwechslungsreich.

Literaturverzeichnis

- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (2014): www.statistik.bayern.de
- Darga, R. (2009): Auf den Spuren des Inn – Chiemseegletschers Übersicht. – Wanderungen in die Erdgeschichte 26: 175 S., München.
- Dongus, H. (1984): Grundformen des Reliefs der Alpen. Geographische Rundschau 36: 388-394.
- Gallas, K. (1979): München. Von der welfischen Gründung Heinrichs des Löwen bis zur Gegenwart: Kunst, Kultur, Geschichte. DuMont, Köln.
- Graßler, F. (1984): Alpenvereinseinteilung der Ostalpen (AVE). Alpenvereins-Jahrbuch des DAV, OeAV, AVS 108: 215-224.
- Küfmann, C. (2003): Soil types and eolian dust in high-mountainous karst of Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wettersteingebirge, Germany). Catena 53: 211-227.
- Küfmann, C. (2008a): Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen. Forschungsbericht Nationalpark Berchtesgaden Nr. 54. Berchtesgaden.
- Küfmann, C. (2008b): Are cambisols in alpine karst autochthonous or eolian in origin? Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 40: 506-518.
- Lagally, U., Rohrmüller, J., Glaser, S., Loth, G. & Pürner, T. (2011): Hundert Meisterwerke – Die schönsten Geotope Bayerns. – 288 S., LfU. Augsburg.
- Langenscheidt, E. (2009): Nationalpark Berchtesgaden Tiefe Seen und schroffe Höhen. – Streifzüge durch die Erdgeschichte, 111 S. Wiebelsheim.
- Maier, J. (1998): Bayern - mit einem Anhang Fakten, Zahlen, Übersichten - Perthes Länderprofile. Stuttgart.
- Meyer, R.K.F. & Schmidt-Kaler, H. (1997): Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München -östlicher Teil. Wanderungen in die Erdgeschichte 8: 144 S.; München.
- Meyer, R.K.F. & Schmidt-Kaler, H. (2002b): Auf den Spuren der Eiszeit südlich von München – westlicher Teil. Wanderungen in die Erdgeschichte 9: 128 S.; 2. Aufl., München.
- Pfeffer, K.-H. (1986): Das Karstgebiet der nördlichen Frankenalb zwischen Pegnitz und Vils. Z. f. Geomorph., Supplement 59: 67-85.
- Schaeffer, I. (1989): Der Weg Albrecht Pencks nach München, zur Geographie und zur alpinen Eiszeitforschung. Mitteil. Geogr. Ges. München 74: 5-25.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2014): www.statistik-portal.de

2. Zum Klima in den Regierungsbezirken Schwaben, Oberbayern und Niederbayern

Harald Maier¹

¹ Deutscher Wetterdienst, Weihenstephan, Alte Akademie, 1685354 Freising

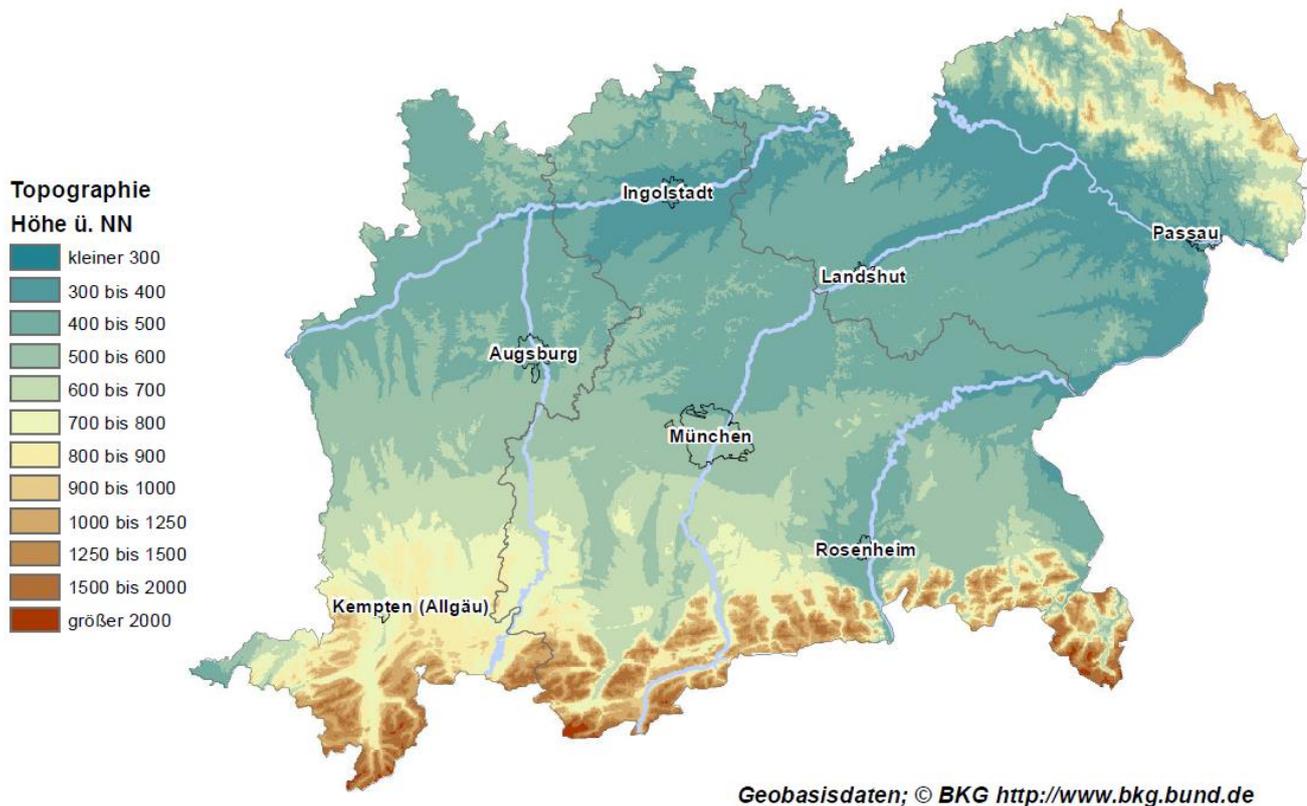


Abbildung 1: Die Topographie Südbayerns (Regierungsbezirke Schwaben, Oberbayern und Niederbayern)

Lage, Gebietsbeschreibung

Die drei Regierungsbezirke umfassen den gesamten südlichen Teil Bayerns und damit den bayerischen Teil des Alpenvorlandes, der großmorphologisch durch seine tiefere Lage im Norden von der schwäbischen Alb, im Nordosten vom Bayerischen Wald und im Süden von den Alpen deutlich abgegrenzt ist. Es hat sich seit dem ausgehenden Alttertiär dadurch entwickelt, dass sich die umgebenden Gebirge allmählich heraushoben. Seitdem stellt es ein Auffangbecken für das Abtragungsmaterial der Gebirge dar, für die Sedimente der Molasse im Tertiär und die Moränen, Schotter und Lössablagerungen des Quartär (Liedtke und Marcinek, 2002). Hebungsprozesse im Miozän hoben das Gebiet weiter hoch. Zudem fand natürliche Erosion statt. Dies gemeinsam hat

letztlich dazu geführt, dass die Landschaft orographisch stark gegliedert ist. Insgesamt fällt das Alpenvorland zur Donau hin ab. Nur die Schotterfluren, Schotterebenen sind fast eben. Die Orographie beeinflusst das lokale Klima erheblich.

Abbildung 1 zeigt die Topographie Südbayerns mit einer Höhenauflösung von 100 Metern. Im Folgenden werden vorwiegend Höhenlagen von knapp unter 300 bis 700 Meter betrachtet, denn zum einen findet in diesem Bereich, abgesehen von der alpennahen und alpinen Grünlandnutzung ein Großteil der landwirtschaftlichen Bodennutzung statt, zum anderen liegen in diesem Höhenabschnitt die meisten Klimastationen mit geschlossenen Datenreihen von mindestens 30 Jahren.

Zonale Einordnung

Südbayern befindet sich in der warmgemäßigten Zone der Mittelbreiten mit Hauptwindrichtung aus Westen. Die westliche Strömung in der freien Atmosphäre variiert zeitlich in ihrer Intensität, in ihrer Strömungsrichtung und durch eingelagerte Tiefdruckwirbel, die sich mit der Westwinddrift verlagern (Schönwiese, 2003). 39 Prozent der Großwetterlagen nach Hess und Brezowsky waren im Zeitraum 1881 bis 1998 Westlagen (Tabelle 1). In den Sommermonaten Juni, Juli, August ist der Anteil der Nordwestlagen besonders hoch.

	Westlagen	Nordwestlagen	Südwestlagen
Jan	30	8	7
Feb	26	8	5
Mar	26	8	4
Apr	19	8	4
Mai	17	6	4
Jun	26	10	2
Jul	30	15	2
Aug	33	10	3
Sep	27	8	4
Okt	27	5	7
Nov	29	8	6
Dez	34	8	6
Jahr	27	8	4

Tabelle 1: Relative Häufigkeit der Großwetterlagen nach Hess und Brezowsky im Zeitraum 1881 bis 1998, verändert, gerundet.

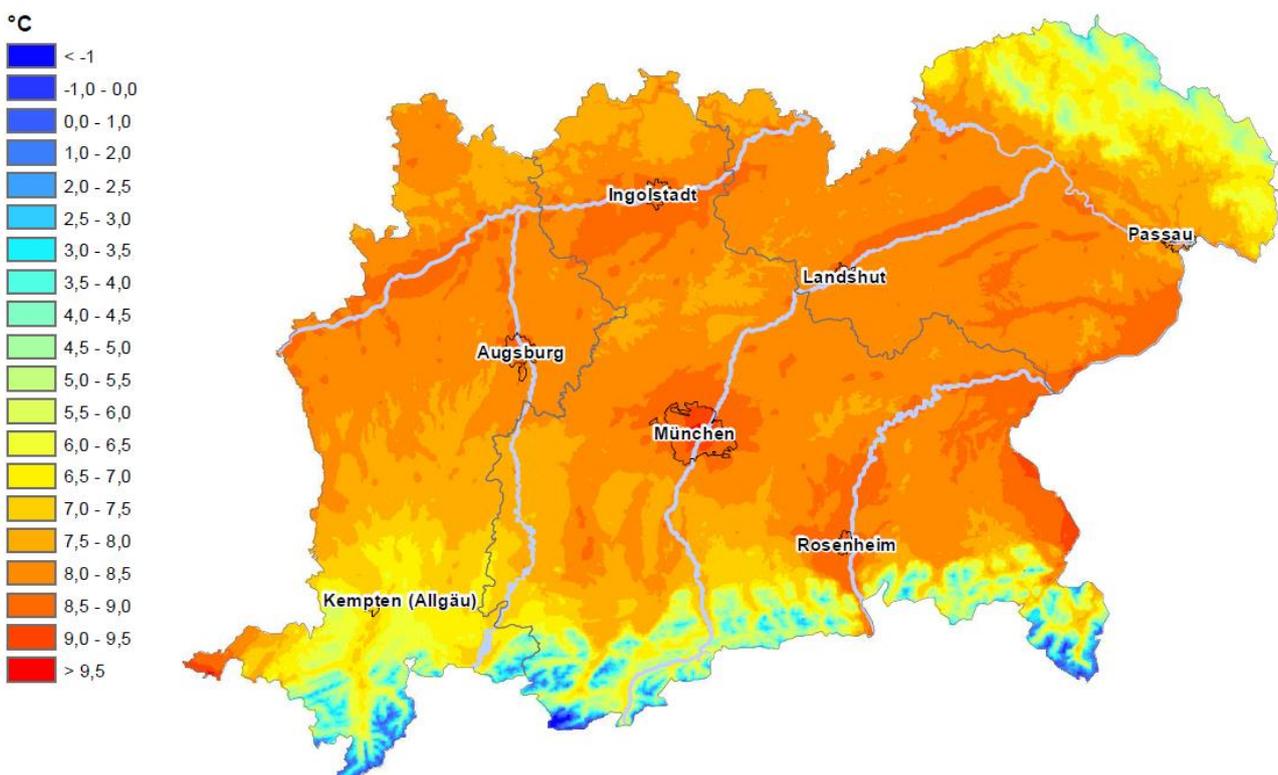


Abbildung 2: Die Jahresmitteltemperatur des Zeitraums 1971 bis 2000. Quelle: www.dwd.de. Die Karte entstammt einem gemeinsamen Projekt des Bayerischen Landesamts für Umwelt, der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie des Deutschen Wetterdienstes, Niederlassung Weihenstephan.

Die häufigen Westlagen und die Nähe zum Meer sind die wesentlichen Gründe dafür, dass sich Südbayern im Übergang vom maritimen zum kontinentalen Klima befindet. Der Einfluss

von Nordsee und Atlantik sorgt für mildes Klima, keine zu strengen Winter und keine zu heißen Sommer. Die Wasserversorgung erfolgt im Mittel kontinuierlich.

Lufttemperaturen

Die Jahresmitteltemperaturen hängen i. w. von der Höhe über dem Meeresspiegel, der geographischen Länge und Breite sowie von der Landnutzung ab. Sie liegen im nördlichen Alpenvorland von der Donau bis zu einer Linie Memmingen-München-Burghausen, also im Wesentlichen in den Naturräumen Donau-Iller-Lech-Platten und Niederbayerisches Hügelland bei ca. 7 bis 9 °C. Die Jahresmitteltemperatur nimmt in Bayern ungefähr um 0,5 K pro 100 m Höhe, und um 0,4 K pro 100 km von Süden nach Norden ab. Die Temperaturzunahme nach Süden in Folge des Breiteneffekts wird durch den Geländeanstieg überkompensiert (Enders et al., 1996). Auf folgender Karte ist der Höheneinfluss deutlich zu erkennen.

Bei raschem Geländeanstieg entstehen horizontal große Temperaturunterschiede im Gelände. Besonders ausgeprägt ist dies im alpennahen oberbayerischen und schwäbischen Alpenvorland, wo das Gelände steil ansteigt oder aber auch am Südrand des Bayerischen Waldes. Die Jahresmitteltemperaturen nehmen dort auf kurzer Distanz deutlich ab.

Neben den Städten („Wärmeinseln“) sind in obiger Karte auch die wärmeren Gebiete der Flusstäler und Seen, der Niederungen von Ammer- und Starnberger See, Boden- und Chiemsees zu sehen sowie der Becken, wie das Inntal, das Nördlinger Ries und das zusätzlich von Mittelgebirgen geschützte Donauried und Donaumoos. Im höher gelegenen Allgäu beträgt die Jahresmitteltemperatur ca. 6 °C, im südöstlichen Rottal oder im Donaumoos können auch über 8 °C erreicht werden. Die Nullgradgrenze liegt bei ca. 2400 m (Enders et al., 1996).

Der mittlere Tagesgang und der Jahresgang der Lufttemperatur nehmen ebenfalls mit der Höhe ab. Die mittlere Tagesamplitude beträgt an den tieferen Stationen, wie München rund 6 K, in den Bergstationen, wie am Hohenpeißenberg 4 K, auf der Zugspitze nur 2 K (Enders et al., 1996). Neben der Meereshöhe spielt die Exponiertheit für die Tagesamplitude eine wichtige Rolle. Geländeklimatische Effekte sind in großen Höhen dagegen unbedeutend, da der Wind für starke Durchmischung der Luft

sorgt.

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Tagesmitteltemperaturen, der mittleren Tagesmaxima und -minima für den klimatologischen Zeitraum 1981 bis 2010. Dabei wurden die zur Verfügung stehenden Klimastationen in zwei Höhenstufenklassen eingeteilt. Die erste Höhenstufe umfasst den Bereich von 300 bis 500 m, die zweite Höhenstufe reicht von 500 bis 750 Meter. In beiden Höhenstufen befinden sich je 15 Klimastationen. Neben den Maxima, Mittel und Minima für das dreißigjährige Mittel sind auch die 25- und 75-Perzentile eingezeichnet. Dadurch lässt sich die Temperaturverteilung besser abschätzen. Z. B. liegen am 1. Januar im Höhenbereich bis 500 Meter 25 Prozent alle Werte unter -3,5 Grad und 75 Prozent aller Werte unter 2 Grad Celsius.

Ein Vergleich der beiden Höhenbereiche in Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Höhenlage auf die Temperatur deutlich. Im Höhenbereich 300 – 500 m ü. NN liegen die höchsten Mittelwerte Ende Juli bei 19,6 °C, im Höhenbereich 500 – 700 m ü. NN bei 18,6 °C. Die Mittelwerte im Januar unterscheiden sich in den beiden Höhenbereichen kaum.

	300 bis 500 m	500 bis 700 m	Differenz
Jan	-1,2	-1,5	0,3
Feb	-0,1	-0,5	0,4
Mar	4,2	3,5	0,7
Apr	8,6	7,7	0,9
Mai	13,6	12,6	1
Jun	16,4	15,5	0,9
Jul	18,4	17,6	0,8
Aug	17,8	17	0,8
Sep	13,5	13	0,5
Okt	8,8	8,5	0,3
Nov	3,4	2,9	0,5
Dez	0	-0,4	0,4
Jahr	8,6	8	0,6

Tabelle 2: Die Monatsmittel der Lufttemperatur für die Höhenbereiche 300 bis 500 m und 500 bis 700 m ü. NN für den Zeitraum 1981 bis 2010.

Der kälteste Monat ist der Januar, der wärmste Monat der Juli (Tabelle 2). Die Temperaturamplitude für den Jahresgang ist höhenabhängig. Sie beträgt für den unteren Höhenbereich 17,2 K, für den oberen Höhenbereich 16,1 K.

Alle Monatsmitteltemperaturen der tiefer gelegenen Stationen weisen stets größere Beträge auf, als dies bei den höher gelegenen Stationen der Fall ist. In den Monaten September bis Februar beträgt die Temperaturdifferenz lediglich rund 0,5 Grad, in den warmen Monaten April bis August rund 1 Grad.

Grund für diese jahreszeitlichen Unterschiede sind die im Herbst häufig stabile Hochdruckwetterlagen. Die am Boden tagsüber zur Verfügung stehende Nettostrahlung ist aufgrund der geringeren Tageslänge und des niedrigen Sonnenstandes gering, die langwellige Ausstrahlung und Abkühlung an der Bodenoberfläche bereits relativ groß. Die Luft ist häufig stabiler geschichtet als im Sommer, was den

vertikalen Luftaustausch verringert. Nicht selten stellt sich in dieser Zeit sogar eine Inversionslage ein, die in tiefen Tälern und Beckenlagen besonders ausgeprägt ist. Über der Inversion bzw. der kühlen Nebelschicht ist es daher in dieser Zeit häufig wärmer, als in Talagen. Im Einflussbereich großer Seen und Flüsse verhindert die Wärmekapazitätsdichte des Wassers ein schnelle Abkühlung der bodennahen Luftschicht im Herbst und eine schnelle Erwärmung im Frühjahr. Zudem fließt in tieferen Lagen oft kalte Luft aus höheren Geländeteilen zusammen. Es bilden sich über den gesamten Winter immer wieder so genannte Kaltluftseen. In der Nähe von Gewässern entsteht zudem Nebel, der gerade in der kalten Jahreszeit lange hält.

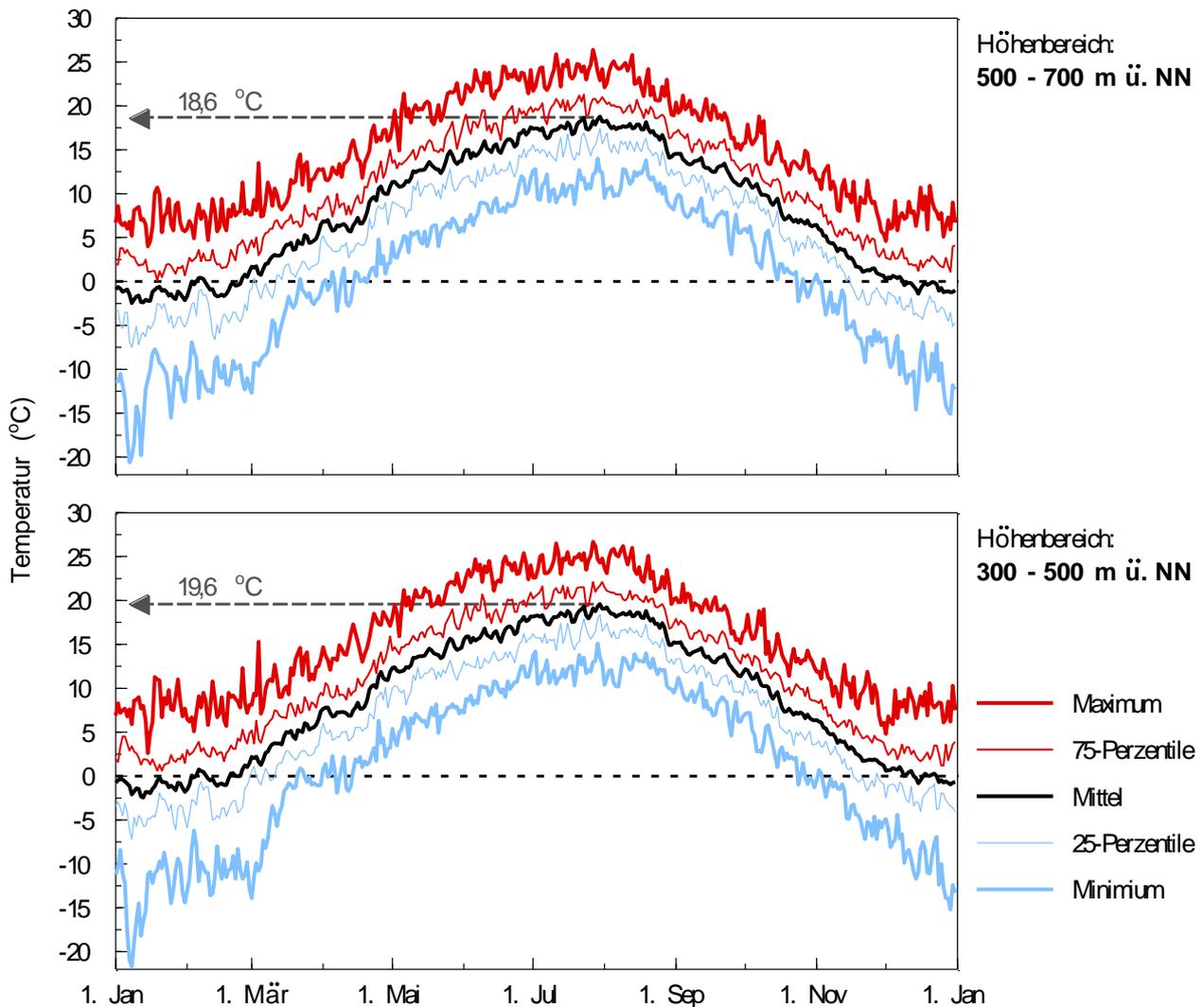
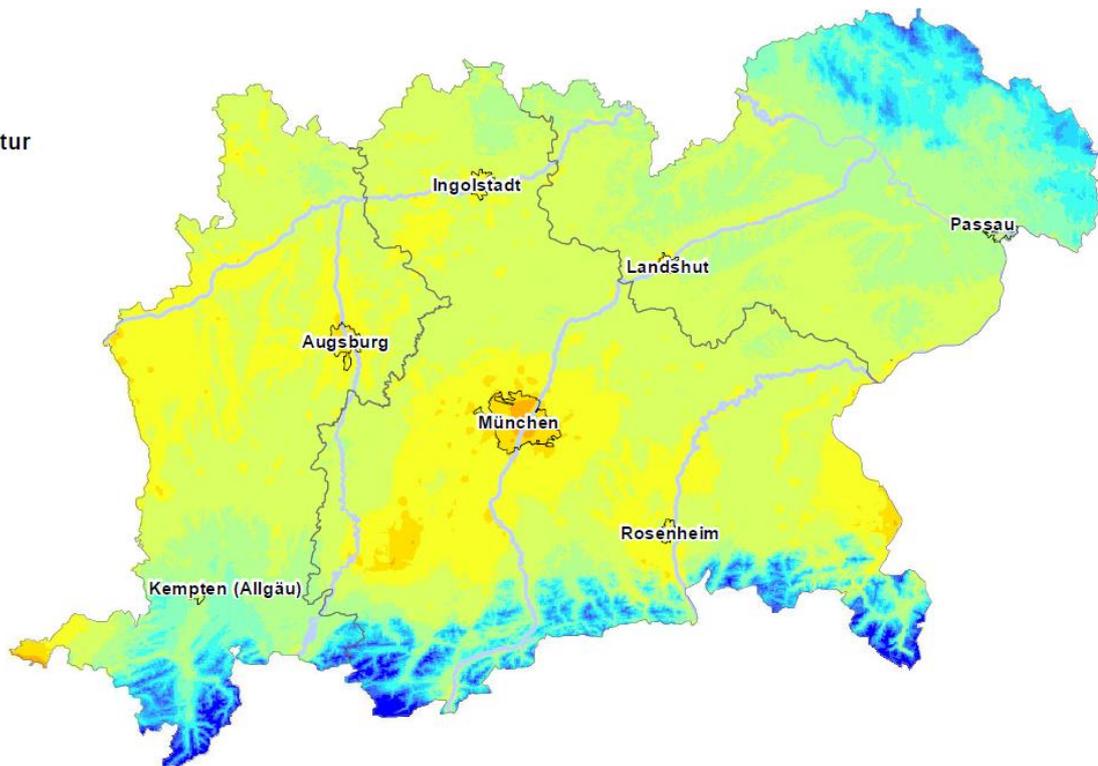
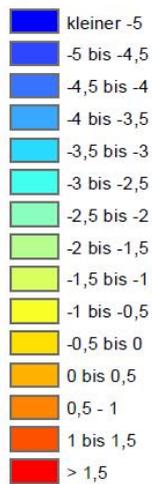


Abbildung 3: Temperaturverlauf an den Klimastationen im Höhenbereich von 300 bis 500 m (unten) und im Höhenbereich von 500 bis 700 m (oben).

Januartemperatur
°C



Julitemperatur
°C

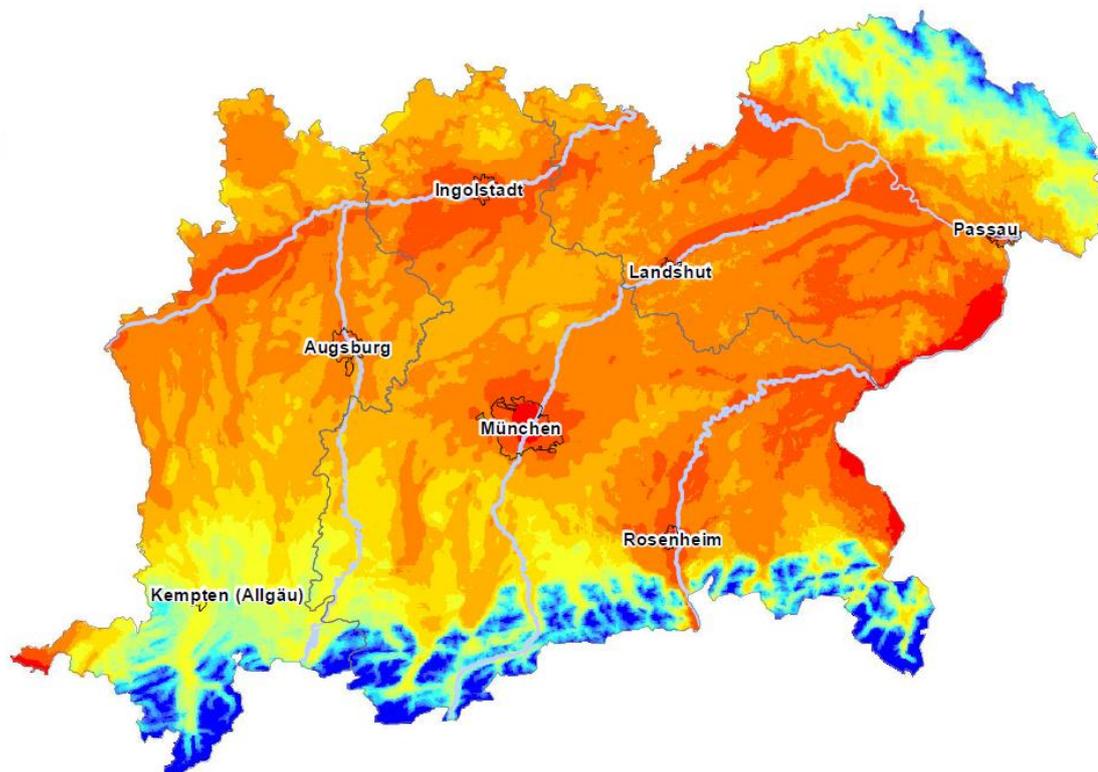


Abbildung 4: Die Mitteltemperatur der bodennahen Luft im Januar (oben) und Juli (unten) für den Zeitraum 1971 bis 2100. Quelle: www.dwd.de. Die Karten entstammen einem gemeinsamen Projekt des Bayerischen Landesamts für Umwelt, der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie des Deutschen Wetterdienstes, Niederlassung Weihenstephan.

Im Frühling sind die Temperaturen in geschützten tieferen Lage, z.B. Becken, besonders hoch, weil sich dort insbesondere an wolkenfreien Tagen die Luft schnell erwär-

men kann, während der Temperaturanstieg in höheren Lagen entweder durch Schnee (negative Strahlungsbilanz) behindert wird oder hohe Windgeschwindigkeiten die Luft durchmischen.

Die Temperatur der bodennahen Luftschicht ist grundsätzlich vom Gelände und der dortigen Ausprägung der Energiebilanzkomponenten Nettostrahlung (Ergebnis der Strahlungsbilanz an der Erdoberfläche), Bodenwärmestrom (Speicherung und Transport von Wärme in bzw. von der Erdoberfläche), Ströme latenter Energie und fühlbarer Wärme geprägt. Diese sind für die Abschätzung des Klimas an einem Standort stets einzubeziehen. Dort, wo die Strahlungsbilanz groß und die Verdunstung z. B. besonders klein ist, sind die Temperaturen tagsüber auch im gegliederten Gelände am höchsten. Je nach Bodenbedeckung (offener Boden, Wald, landwirtschaftlichen Kulturen, Schnee, Eis, Bebauung) trägt der Bodenwärmestrom unterschiedlich zum Standortklima bei. Das Gelände (Exposition und Inklination) verändert die Strahlungsbilanz insbesondere in den Übergangsjahreszeiten. Es kann sich an Tagen entwickelt, an denen die Einstrahlung besonders hoch ist, z.B. an wolkenfreien Tagen. Außerdem kann der Wind geländebedingte Temperaturunterschiede verwischen. Er verhindert die Bildung von Inversionen und von Kaltluft (Bergold, 1993).

Die absoluten Minima bewegen sich meist, unabhängig von der Höhe zwischen -25 und -29 °C (Tabelle 3). Die Ursache ist meist die windgeschützte Lage von Tälern und Becken, die die Kaltluftbildung begünstigt. Die Verteilung der Maxima zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Meereshöhe (Enders et al., 1996). In den Niederungen sind sie regelmäßig höher als in größeren Höhen. Für die Bewertung der Temperatur der bodennahen Luft sind stets die Bedingungen im näheren und weiteren Umfeld der Station zu berücksichtigen. Der Unterschied im absoluten Temperaturmaximum der Stationen Kösching und Weihenstephan wird nicht in erster Linie durch die Höhenlage der beiden Messstationen verursacht, sondern vielmehr durch die Lage. Die Station Kösching liegt z.B. windgeschützt an einem leichten Südhang, wogegen sich die Station Weihenstephan in einer windoffenen Lage an einem leichten Nordhang befindet.

Abbildung 4 zeigt, dass die räumliche Differenzierung der Temperaturen im Sommer größer ist als im Winter. Den Winter repräsentiert die

Januarkarte, den Sommer die Julikarte.

	Höhe (m)	Maximum (°C)	Minimum (°C)
Aldersbach (Passau)	340	37,9	-33,5
Eichstätt	384	38,0	-27,7
Mühldorf a. Inn	406	37,3	-28,0
Kösching	417	40,0	-24,2
Augsburg	461	37,1	-27,1
Weihenstephan	477	36,5	-27,4
Kiefersfelden	518	35,5	-25,6
Memmingen	615	35,8	-25,2
Kempten	705	35,4	-29,8
Garmisch-P.	719	36,4	-25,7
Hohenpeißenberg	977	33,1	-22,0

Tabelle 3: Die höchsten und niedrigsten Messwerte für die Lufttemperatur ausgewählter Stationen im Zeitraum 1961 bis 2010.

Niederschlag

Jährliche Niederschlagshöhen (= Summe der Niederschläge aller Tageswerte eines Jahres)

Zyklonale West- und Nordwestwetterlagen bestimmen in erster Linie die jährliche Niederschlagsverteilung in Bayern. Bei diesen Wetterlagen werden feuchte Luftmassen im Luv von Mittelgebirgen und der Alpen zum Aufsteigen gezwungen (Stauwirkung). Die Luft kühlt sich dabei adiabatisch ab, unterschreitet den Taupunkt, Wasserdampf kondensiert, es entstehen Wolken und schließlich Niederschläge. Im Lee der Gebirge sinkt die nun wasserdampfärmere Luft ab und erwärmt sich dabei adiabatisch. Die Folgen: Auf der West- und Nordseite regnet es deutlich mehr als auf der Ost- und Südseite von Gebirgen auf gleicher Seehöhe. Je höher das Gebirge ist, desto stärker ist die Abkühlung und desto höher fällt der Jahresniederschlag aus. In den Niederschlagskarten bildet sich deshalb die Orographie deutlich ab.

Die höchsten Niederschläge fallen in den Alpen (Abbildung 5). Sie erreichen dort über 2000 mm im Jahr, wobei es auch in den Alpen Tälern gibt, in denen der mittlere Jahresniederschlag aufgrund des oben beschriebenen Lee-Effekts nur bei 600 bis 700 mm liegt. Im Betrachtungsgebiet sind die geringsten Niederschlagsmengen im Donautal bzw. süd- und südöstlich der Alb zu verzeichnen. Um Ingolstadt (365 m über NN) und im nördlichen

Dungau zwischen Donau und Isar (rund 300 m über NN) liegen die mittleren Jahresnieder-

schlagssummen bei 700 mm pro Jahr.

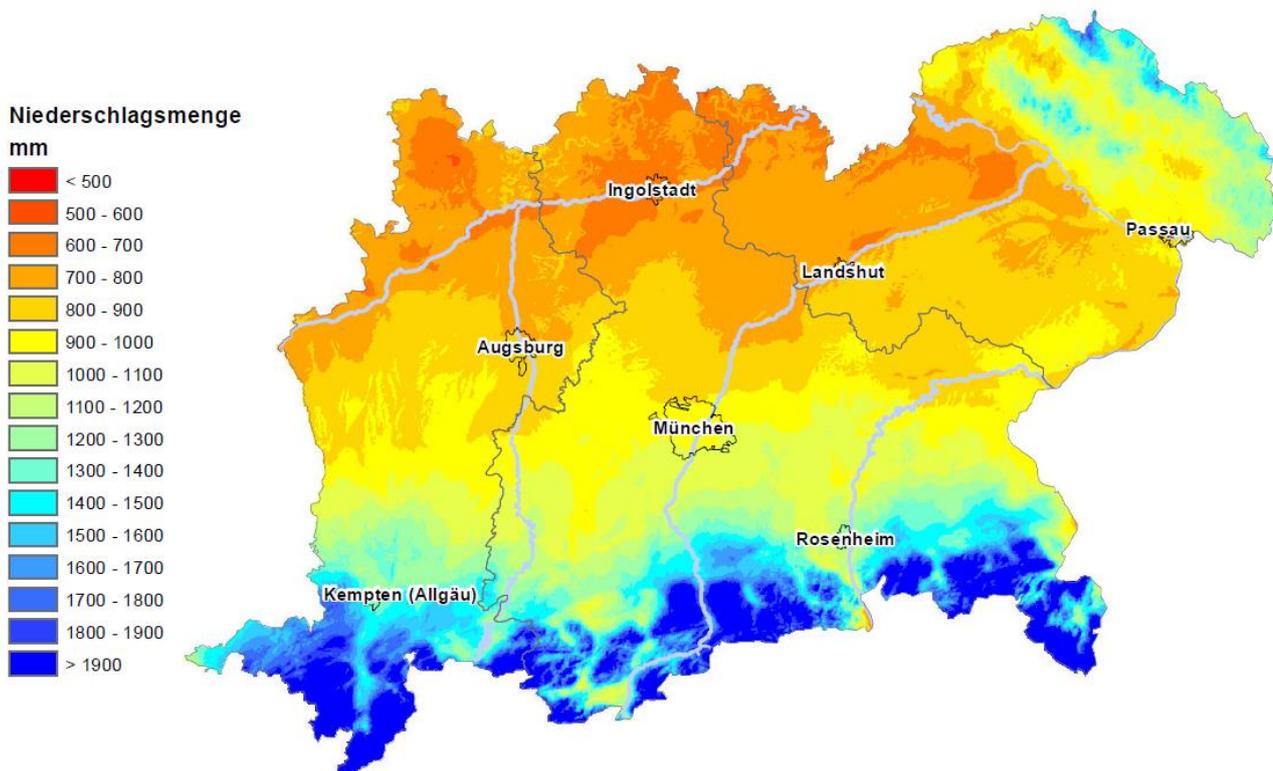


Abbildung 5: Mittlere Jahresniederschlagssumme im Zeitraum 1971 bis 2000. Quelle: www.dwd.de. Die Karte entstammt einem gemeinsamen Projekt des Bayerischen Landesamts für Umwelt, der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie des Deutschen Wetterdienstes, Niederlassung Weihenstephan.

Von den Alpen zum Donautal nehmen die mittleren Jahresniederschlagssummen mit abnehmender Höhenlage kontinuierlich ab. Richtung Bayerischer Wald ist die Zunahme der Niederschlagsmenge durch den Stau effekt deutlich erkennbar.

Die räumliche Verteilung der mittleren Niederschlagssummen im Januar und Juli zeigt Abbildung 6. Die höchsten Monatsniederschläge fallen im Sommer. Es herrschen in dieser Zeit Nordwestliche Winde vor (Tabelle 1). Die feuchten Luftmassen erreichen wegen des höheren Kondensationsniveaus häufiger die Alpen als im Winter ohne vorher abzuregen. Der Stau effekt der Alpen ist im Sommer stärker ausgeprägt und reicht weiter nach Norden als im Winter.

In Südbayern ist zudem im Sommer die Luft labil geschichtet. Die in dieser Zeit hohe Sonneneinstrahlung erwärmt die Erdoberfläche und die bodennahe Luftschicht. Über sich besonders stark erwärmenden Oberflächen

steigen wasserdampfreiche Luftpakete mit einer im Vergleich zur Umgebungsluft geringeren Dichte auf. Es kommt zu Konvektion. Während des Aufstiegs kühlen sich die Luftpakete adiabatisch ab. Wird die Taupunkttemperatur erreicht, setzt Kondensation von Wasserdampf und damit Wolkenbildung ein. Je feuchter die Luft und je weniger stabil die Atmosphäre, desto höher, energie- und wasserreicher sind die Wolken. Es finden also hierbei dieselben Prozesse statt wie bei der oben beschriebenen erzwungenen Hebung der Luft. Dieser Prozess wird allerdings durch Konvektion und nicht wie bei Stau niederschlägen durch ein Gebirge ausgelöst.

Die feuchtlabile Schichtung durch hohe Sonneneinstrahlung und viel Wasserdampf in der Luft ist der Hauptgrund dafür, dass manchmal der Juni, häufig der Juli der niederschlagsreichste Monat ist. Mit der Nähe zu den Alpen nehmen die sommerlichen Niederschläge und deren Ergiebigkeit deutlich zu.

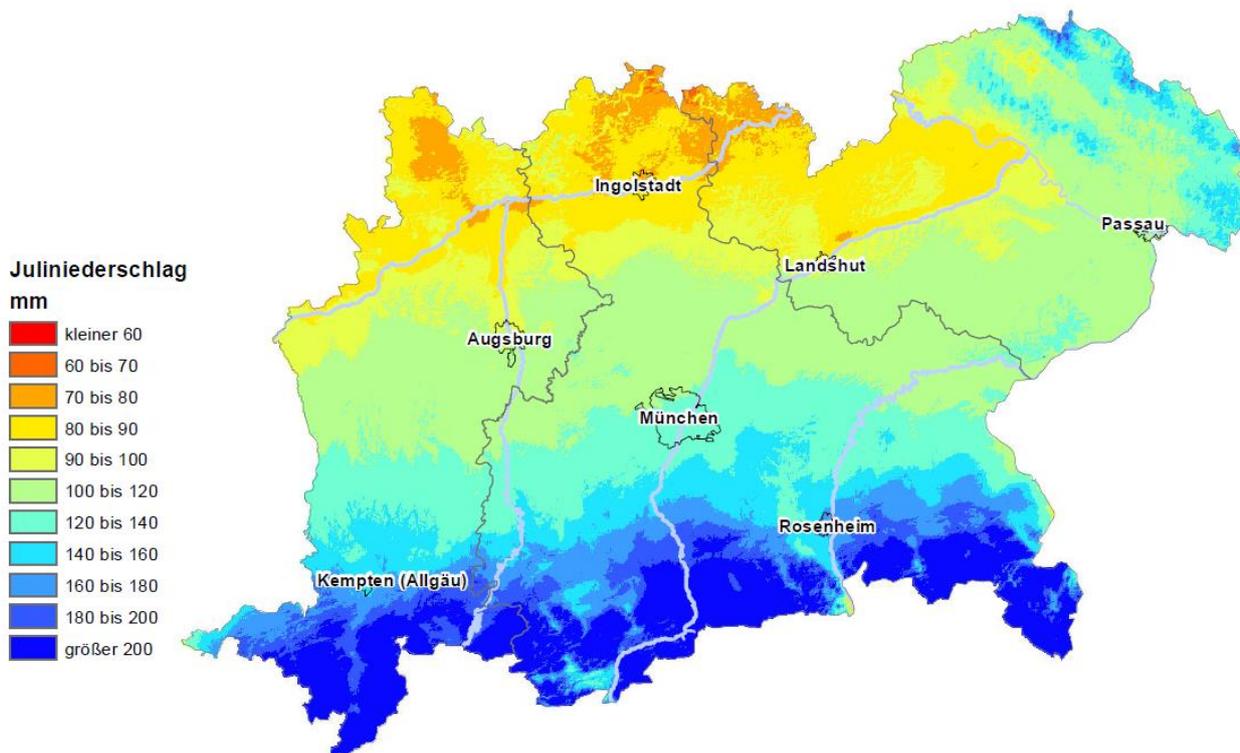
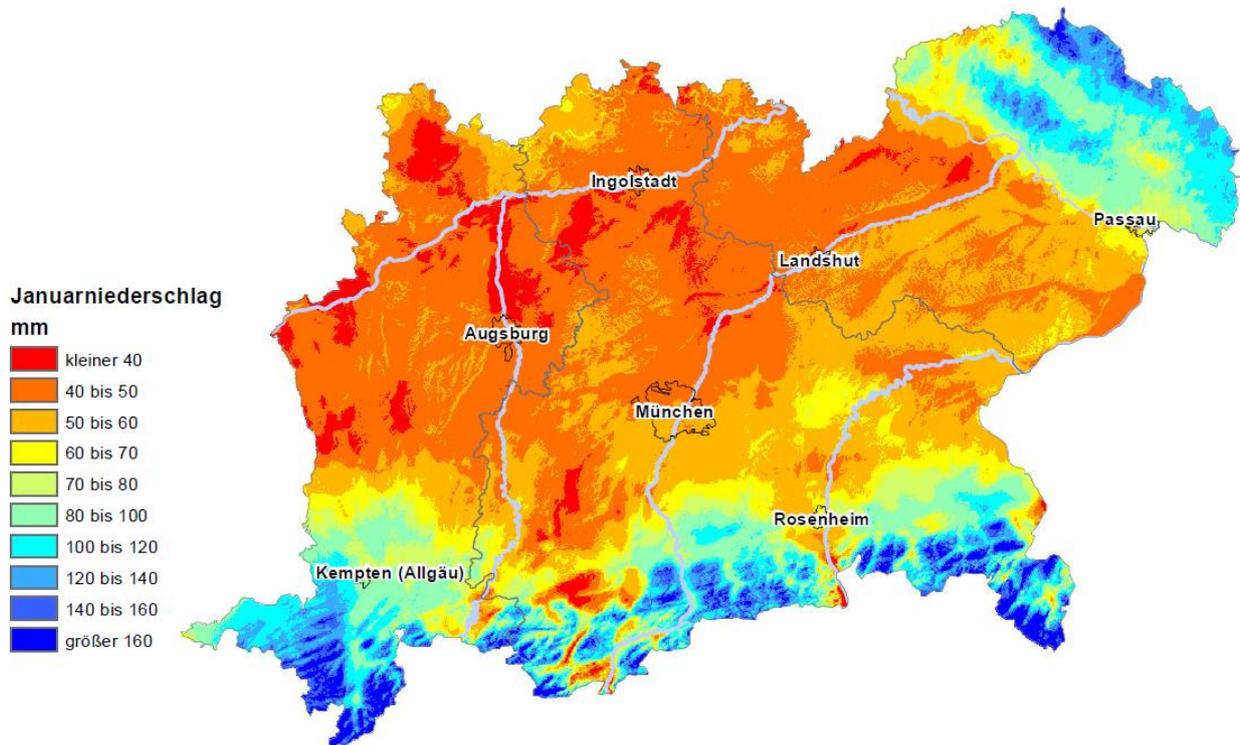


Abbildung 6: Die mittleren Niederschlagssummen der Monate Januar (oben) und Juli (unten) im Zeitraum 1971 bis 2100. Quelle: ww.dwd.de. Die Karten entstammen einem gemeinsamen Projekt des Bayerischen Landesamts für Umwelt, der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sowie des Deutschen Wetterdienstes, Niederlassung Weihenstephan.

Abbildung 7 zeigt die Niederschlagsmengen der drei Standorte Kösching (417 m über dem Meeresspiegel), München-Berg am Laim (520 m) und Kempten (705 m). Die mittleren Jah-

resniederschlagssummen für den Zeitraum 1981 bis 2010 betragen 720 mm für Kösching, 1033 mm für München und 1264 mm für Kempten.

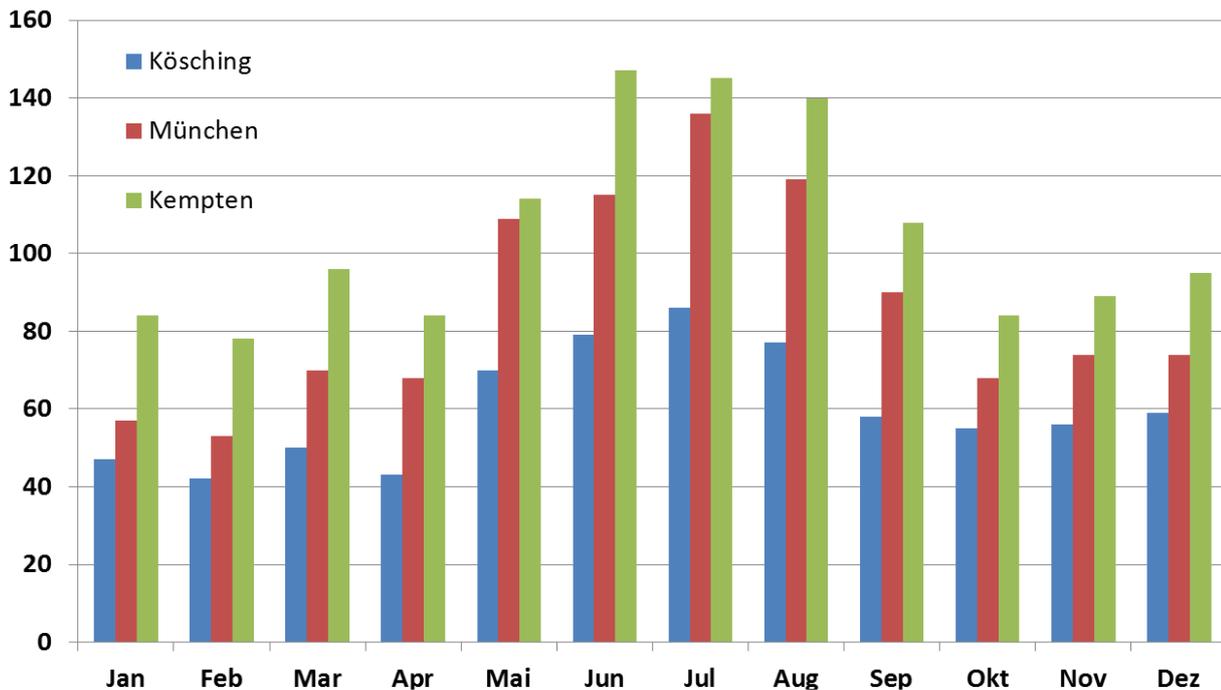


Abbildung 7: Die mittleren monatlichen Niederschlagssummen von drei Standorten im Zeitraum 1981 bis 2010.

Der niederschlagsärmste Monat ist zumeist der Februar, an der unteren Donau auch der April und in Alpennähe und in Ostbayern der Oktober (Enders et al., 1996). Der Dezember oder März bilden in der kühleren Jahreshälfte ein „kleines Maximum“.

Die Niederschlagssummen schwanken nicht nur räumlich sondern auch zeitlich, von Jahr zu Jahr, sehr stark, wie Abbildung 8 verdeutlicht. Die Messreihe umfasst die Jahre 1932 bis 2013. Am wenigsten Niederschlag, 572 mm, fiel im Jahr 1949, gefolgt von 2003. Die größte Niederschlagsmenge ist mit 985 mm für 1940 zu verzeichnen. Das Verhältnis der niedrigsten zur höchsten Jahresniederschlagsmenge beträgt 1:1,7. Die Standardabweichung beträgt knapp 100 mm.

Es ist also typisch für Südbayern, dass immer wieder ausgesprochene Nass- und Trockenjahre auftreten. Neben den genannten Jahren waren die Jahre 1976 und 2003 außergewöhnliche Trockenjahre und 1965, 1966, 1979, 2002 Nassjahre. Selten sind alle Monate eines Nassjahres überdurchschnittlich nass und alle

Monate eines Trockenjahres unterdurchschnittlich trocken.

Die Schwankungsbreiten der Niederschlagssummen sind naturgemäß in den Jahreszeiten größer als zwischen den Jahren. Für den Sommer beträgt an der Station Weihenstephan das Verhältnis 1:3,1 bei einer Standardabweichung von 72 mm und im Winter 1:4,6 bei einer Standardabweichung von 42 mm.

Trockenjahre wirken sich aber in Südbayern im Gegensatz zu Nordbayern meist kaum auf die Erträge landwirtschaftlicher Kulturen aus. Denn aufgrund der Stauniederschläge und der sommerlichen Gewittertätigkeit fallen im Alpenvorland immer wieder Niederschläge. Dürreperiode fallen deshalb meist kürzer aus als in Nordbayern. Gefährdet sind lediglich die Gebiete im Regenschatten der Alb.

Die klimatischen Bedingungen sind somit für den Anbau vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen sehr günstig. Abgesehen von den Gebirgslagen ist überall Ackerbau möglich, sofern die Böden dies zulassen (van Eimern, Häckel, 1984).

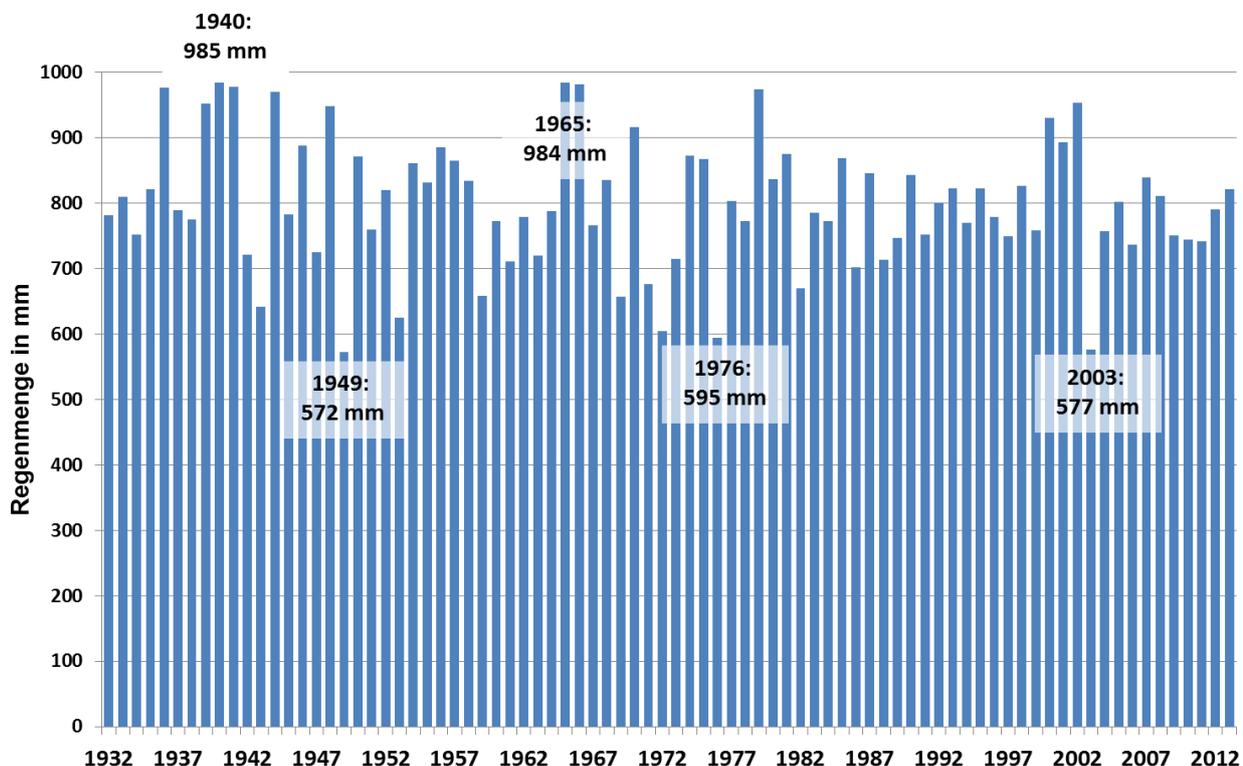


Abbildung 8: Die Jahresniederschlagsmengen in Weihenstephan von 1932 bis 2013.

Literatur

- Bergold, M., 1993: Modellmäßige Interpolation der Witterungsdaten im Gelände für den Einsatz in pflanzenbaulich-phytopathologischen Beratungssystemen, Dissertation
- Enders, G., 1996: Klimaatlas von Bayern, Bayerischer Klimaforschungsverbund
- Gerstengarbe, F.-W.; Werner, P.C.: 1999: Katalog der Großwetterlagen Europa (1881-1998) nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky
- Liedtke, H., Marcinek, J., 2002: Physische Geographie Deutschlands
- Schönwiese, C.-D., 2003: Klimatologie. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart
- Van Eimern, J.; Häckel, H.: 1984: Wetter- und Klimakunde, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart

3. Geologie und Böden in Bayern

Walter Martin¹, Reinhard Jochum¹, Robert Traidl¹

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, D-86179 Augsburg

Bayern kann stark vereinfacht geologisch-geografisch in vier Großgebiete gegliedert werden: Das paläozoische Grundgebirge in Nordostbayern, das mesozoische Deckgebirge

in Nordwestbayern, das Alpenvorland mit dem südbayerischen Tertiär und Quartär und die Alpen im Süden (Abb. 1).

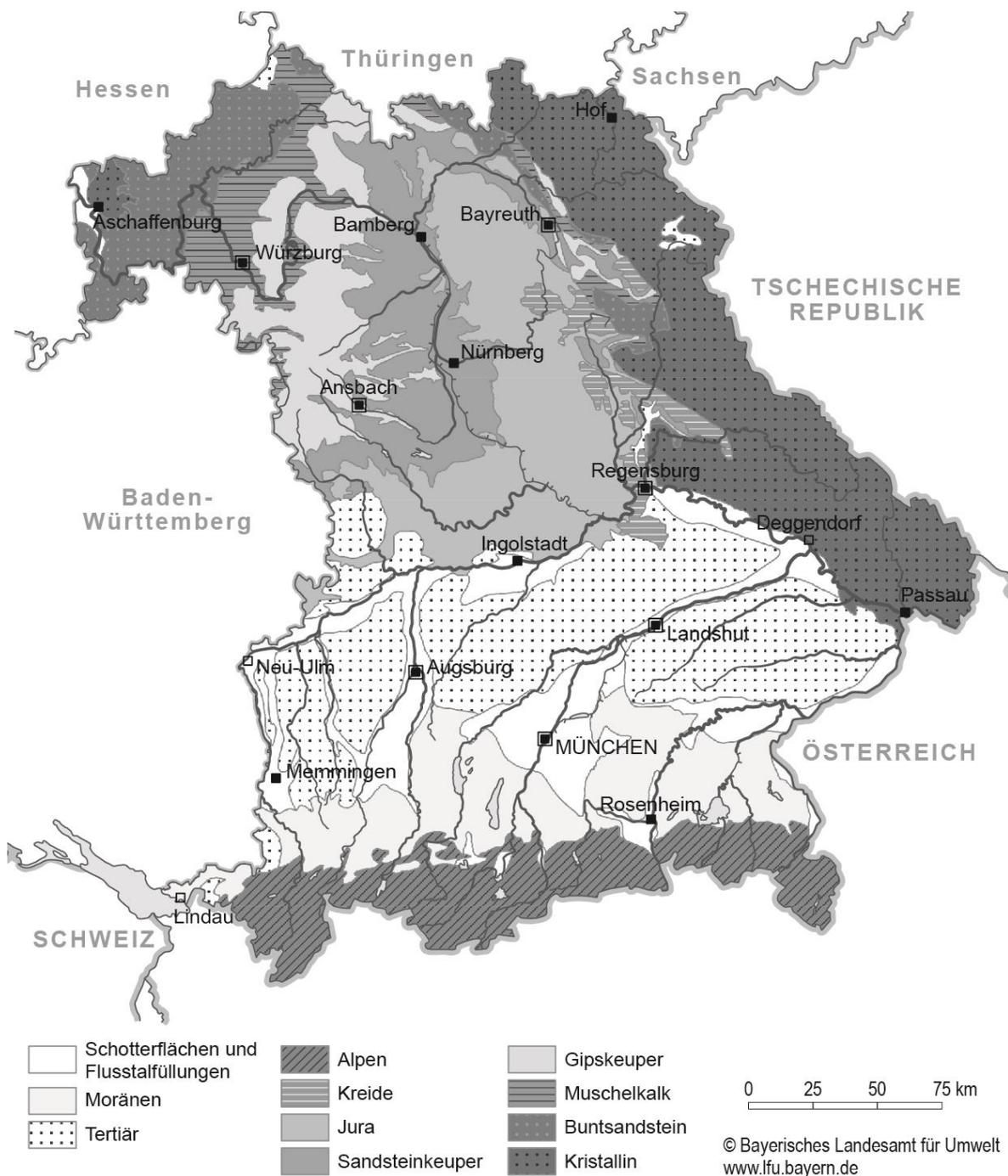


Abb. 1: Die Geologie von Bayern (stark vereinfacht)

1. Nordostbayerisches Grundgebirge, Kristallin

Das „Nordostbayerische Grundgebirge“, im Gebiet östlich von Bayreuth und Regensburg sowie nördlich der Donau bis Passau umfasst paläozoische und ältere Gesteine, die bei der variszischen und früheren Gebirgsbildungen entstanden sind. Der südliche Teil, mit dem Bayerischen und Oberpfälzer Wald, besteht überwiegend aus sauren Gneisen Glimmerschiefern, Migmatiten und Graniten, aber auch Amphibolite, Serpentine und basische Vulkanite treten auf. Im Frankenwald zur Grenze nach Thüringen dominieren Tonschiefer, Grauwacken, Konglomerate und saure Kiesel-schiefer. Auch Diabase nehmen größere Flächen ein. Diese Gesteine verwitterten bereits im Tertiär intensiv (Saprolith), weshalb sich die Böden in dieser Region oft in mächtigen, durch quartäre Umlagerungsprozesse gebildeten Deckschichten, entwickelt haben. Insbesondere in der Selb-Wunsiedler Bucht treten auch tertiäre Sedimente in größerer Mächtigkeit, überwiegend als Sande und Tone, auf. Hervorzuheben sind die dort gebildeten Kaolinite, welche der Porzellan-industrie in den Städten Selb und Arzberg zur Bedeutung verhalfen.

Im gesamten Grundgebirge haben sich über-wiegend (saure) Braunerden aus meist grusig-sandigen Substraten entwickelt, die mit zuneh-mender Höhenlage zur Podsolierung neigen oder als Podsol ausgebildet sind. Auf schluffig-tonigen Substraten oder auf Fließerden in Hangfuß und Muldenlagen treten auch Pseu-dogley-Braunerden bis Pseudogleye auf. Regosole, Ranker oder Felshumusböden sind auf Erosions- oder exponierte Standorte be-schränkt, in den tief eingeschnittenen Franken-waldtälern aber nicht untypisch. Erwähnens-wert sind weiterhin Rendzinen bzw. Para-rendzinen auf Marmor oder Kalksilikatfels.

2. Mesozoisches Deckgebirge, Schichtstufenland

Nördlich der Donau und im Westen an das Grundgebirge anschließend erstreckt sich das nordwestbayerische Schichtstufenland das überwiegend aus dem mesozoischen Deck-gebirge gebildet wird. Das mesozoische Deck-

gebirge baut sich aus einer Abfolge von Sand-, Schluff- und Tonsteinen sowie Karbonatgestei-nen auf. Bei der Hebung der Süddeutschen Scholle wurde der Nordwesten Bayerns stärker angehoben, weshalb dort die ältesten Sedi-mente anstehen.

2.1 Kristalliner Spessart und Basalte

Im Nordwesten bei Aschaffenburg tritt mit dem aus Glimmerschiefern und Gneisen aufgebau-ten Vorspessart das Grundgebirge zutage und bildet dort überwiegend Braunerden. Zwischen dem Vorspessart und dem Anstieg zum Bunt-sandsteinspessart treten mit dem Rotliegenden und dem Zechstein auch noch Sedimente aus dem Paläozoikum in einem schmalen Band auf. Ganz im Norden Bayerns in der Rhön überlagert tertiärer Basalt die mesozoischen Sedimente. Der tertiäre Vulkanismus hat auch nördlich von Schweinfurt und Bamberg zu einzelnen Basaltdurchragungen, der Heldbur-ger Gangschar, geführt. Auch in der Region Bayreuth – Weiden finden sich immer wieder Reste von tertiärem Vulkanismus, auf dem sich Braunerden und untergeordnet Pseudogleye aus Basaltverwitterung bildeten.

2.2 Buntsandstein

Von Aschaffenburg bis zu einer Linie Mellrich-stadt – Wertheim stehen Sedimente des Bunt-sandstein an, welche den Odenwald, den Spessart und die niedrigeren Lagen der Rhön bilden. Der Buntsandstein besteht aus Wech-selfolgen, gebildet aus gröberen Sedimenten im Liegenden und feineren Sedimenten im Hangenden. Im Osten schließen die Sedi-men-te des überwiegend tonigen Röt den Buntsand-stein ab. Quartäre Sedimente oder Deck-schichten treten nur untergeordnet oder als geringmächtige Schleier auf. Braunerden und podsolige Braunerden aus sandiger Verwit-terung des Buntsandstein, vereinzelt mit Flug-sanddecke, sind die verbreitetsten Boden-formen. Mit zunehmendem Schluff- bzw. Ton-gehalt treten Pseudogley-Braunerden bis Pseudogleye auf. In Erosionslagen sind auch Ranker und Regosole anzutreffen.

2.3 Muschelkalk, Unterer Keuper und Gipskeuper

Nach Osten schließen an den Buntsandstein

Sedimente des Muschelkalk an, die bis zu einer Linie Königshofen – Würzburg die westlichen, hügeligen Mainfränkischen Platten prägen. Die östlichen Teile der Mainfränkischen Platten bis zum Anstieg der Linie Haßberge, Steigerwald und Frankenhöhe bilden eine flachwellige Landschaft, die vom Unteren Keuper und Gipskeuper eingenommen wird und in die einzelne Täler bis in den Muschelkalk eingeschnitten sind. Die Mainfränkischen Platten sind großflächig von quartären Sedimenten aus Lösslehm, Löss, Sandlöss und Flugsand bedeckt. Im Ochsenfurter Gau und östlich von Würzburg werden sogar Mächtigkeiten von mehreren Metern Löss erreicht. Im westlichen Teil und an den Talhängen der Mainfränkischen Platten, wo Deckschichten weitgehend fehlen, reicht die Bodenentwicklung nur zu (Para-)Rendzinen aus Kalksteinverwitterung, mit geringem äolischem Anteil. Im östlichen Teil treten Regosole und Pelosole, selten Pararendzinen aus Keuperton auf. Bei mächtigen Lösslehm- oder Lössablagerungen dominieren Pararendzinen und (Para-) Braunerden, die stellenweise pseudovergleyt sind. Auf den Flugsanden haben sich in der Regel Braunerden entwickelt.

2.4 Sandsteinkeuper und Lias

Von den Haßbergen, dem Steigerwald und der Frankenhöhe nach Osten und Süden bis zum Anstieg der Fränkischen Alb stehen die Sedimente des Sandsteinkeuper und des Lias an, die einen kleinräumigen Wechsel von Sandsteinen, Sanden und Tonen bilden. Auch hier sind die mesozoischen Sedimente mit einem mehr oder weniger mächtigen Schleier schluffiger, quartärer Ablagerungen überdeckt, die aber meist nicht dominierend auf die Bodenbildung Einfluss haben. Ausnahmen bilden die Flussniederungen mit quartären Flussablagerungen und die Flugsande insbesondere im Raum Nürnberg. Mit mehr als 250 bodenkundlichen Legendeneinheiten in der Übersichtsbodenkarte 1:25000 von Bayern weist diese Region die größte Vielfalt an kartierten Bodenformen auf. Auf den grundwasserfernen Sanden haben sich primär Braunerden entwickelt, die einerseits bei fehlender Deckschicht unter Wald zur Podsolierung neigen, andererseits

mit schluffiger Überdeckung auch pseudovergleyt sein können. Auf den tonigen Substraten entwickelten sich Regosole und Pseudogleye. In den oft sehr breiten Tälern und Niederungen treten Bodenkomplexe aus Gleyen und anderen grundwasserbeeinflussten Böden auf.

2.5 Frankenalb (Jura)

Die Frankenalb erstreckt sich vom Obermain im Norden bis an die Grenze zu Baden-Württemberg. Sie wird überwiegend von Malmkalken aufgebaut. An ihren Anstiegen sind Sedimente des Opalinuston und Doggersandstein anzutreffen. Stellenweise ist die Hochfläche der Frankenalb von Alblehm, einem polygenetischem Gemisch aus überwiegend Lösslehm und Residualton bedeckt, in dem sich schluffig-lehmige (Para-) Braunerden und lehmig-tonige Pseudogleye entwickelten haben. Am verbreitetsten sind (flache) Braunerden über Terra fusca aus Lösslehm und Residualton über Karbonatgestein und Rendzinen, Braunerde-Rendzinen und Terra fusca-Rendzinen aus Kalksteinfrostschutt des Malm.

Eine Besonderheit stellt das Nördlinger Ries dar, das durch einen Meteoriteneinschlag (Impaktkrater) während des Tertiär (vor ca. 15 Mio. J) gebildet wurde. Impaktgesteine, wie der Suevit, vor allem aber Ablagerungen des Riessees sind charakteristisch. Sie sind teilweise von mächtigen Lössablagerungen überdeckt. Der Riesrand ist durch Auswurfmassen geprägt, soweit auch sie nicht durch quartäre Ablagerungen verhüllt werden. Die dominanten Böden im Rieskessel sind im westlichen Teil überwiegend (Para-)Braunerden aus Löss und Lösslehm, im zentralen Bereich lehmig-tonige Pelosole, die stellenweise tiefhumos sind (Humuspelosole). Im östlichen Rieskessel treten zunehmend auch sandige Braunerden auf.

2.6 Kreide, Naabtertiär

Von den Hochebenen der Frankenalb nach Osten bis in die Bodenwöhrer Senke und nach Süden in den Raum Regensburg, dort auch südlich der Donau, stehen Kreidesedimente an. Ausgangsgestein der Bodenbildung sind Karbonatgesteine, Sandsteine und deren Verwitterungsprodukte. Auf den Karbonatgesteinen der Kreide ist die Bodenausstattung ver-

gleichbar mit der Entwicklung auf Malmkalken. Auf den Sandsteinen der Kreide haben sich (saure) Braunerden und Podsol-Braunerden gebildet. Eine Besonderheit bilden hier tertiäre Braunkohlevorkommen, die zum Naabtertiär gehören, das sich ab Regensburg in einem schmalen Streifen weit nach Norden erstreckt.

2.7 Bruchschollenland

Die Landschaft von Kronach über Bayreuth bis Weiden ist geprägt von einem sehr kleinräumigen Wechsel aller mesozoischen Gesteine. Sie liegen im Bereich einer tektonischen Störungszone im Deckgebirge zwischen dem Grundgebirge im Osten und dem Schichtstufenland im Westen. Aufgrund dieser Bruchtektonik sind hier alle Gesteine vom Rotliegend bis zum Keuper an der Oberfläche bodenbildend vorhanden. Die Böden sind demnach geprägt von einem kleinräumigen Wechsel von sandigen, lehmig-schluffigen bis tonigen Substraten mit einer großen Varianz an Bodentypen.

3. Alpenvorland mit südbayerischem Tertiär und Quartär

Das Alpenvorland mit dem südbayerischen Tertiär und Quartär erstreckt sich vom Donautal nach Süden bis zu den Alpen. Geologisch kann es vereinfacht gegliedert werden in die Schotterflächen und Flusstalfüllungen, das Tertiär und die Moränen.

3.1 Schotterflächen und Talfüllungen

Die Schotterflächen und Talfüllungen wurden überwiegend im Jungpleistozän oder Holozän gebildet. Mit zunehmender Entfernung vom Alpennordrand und damit abnehmender Fließgeschwindigkeit wurden immer feinere Sedimente abgelagert. Dominieren südlich von Augsburg auf dem Lechfeld, in der Münchner Schotterebene oder in der Mühldorfer und Öttinger Schotterebene noch Grobkiese, finden sich im Donautal überwiegend feinere Fraktionen. Innerhalb der Kiese dominieren Karbonatgesteine, die aus den nördlichen Kalkalpen ins Vorland transportiert wurden. Aber auch Flüsse, wie der Lech, die keinen Anschluss an das Zentralalpin haben, führen Gerölle aus dem Zentralalpin mit, die aus durchflossenen Fernmoränen stammen.

Bei Hochwasser überfluteten diese Flüsse große Auenflächen und lagerten dabei Feinmaterial ab, so dass die Oberböden der Auen durchweg deutlich mehr Feinsubstanz enthalten als die Unterböden. Auf den angrenzenden Niederterrassen sind meist nur geringmächtige schluffig-lehmige Decken vorhanden. Bei intensiver landwirtschaftlicher Nutzung ist diese flache Decke durch Wind und Wassererosion gefährdet. Trotz großer Grundwasserreserven auch in geringer Tiefe unter Flur neigen die Auen und Schotterflächen aufgrund des geringen kapillaren Aufstiegs und der sehr geringen nutzbaren Feldkapazität zu extremer Trockenheit. Hier haben sich (humusreiche) Pararendzinen, stellenweise (Para-) Braunerden und in den Auen Kalkpaternien und Veges mit Übergängen zum Gley entwickelt.

Entfernt der kiesführenden Flussläufe haben sich am Talrand bei hoch anstehendem Grundwasser in den Tälern von Donau, Iller, Günz, Mindel, Wertach, Lech, Paar, Isar, Rott, Inn und Salzach eine Vielzahl von Niedermooren gebildet (Donauried, Donaumoos, Freisinger- und Erdinger Moos). Viele dieser Niedermoore wurden im 19-ten Jahrhundert entwässert und seitdem intensiv genutzt. Durch landwirtschaftliche Nutzung und Torfstich sind seitdem erhebliche Mengen an Torf verloren gegangen. Besonders deutlich wird dies am Moorpegel bei Karlshuld im Donaumoos, der zeigt, dass bis zu 3 m Torf in ca. 200 Jahren großflächig verschwunden sind. Heute findet man nur noch Reste davon. Erdniedermoore und andere degradierte Moore dominieren. In den Randbereichen treten Anmoore, Anmoorgleye und Humusgleye auf.

Auf den noch erhaltenen (Riß-)Hochterrassen und abseits der jungpleistozänen Fließwege wurden teilweise mächtige Lössdecken abgelagert. Besonders bekannt ist die "Kornkammer Bayerns", der Dunggau, zwischen Straubing und Deggendorf sowie das Hochfeld bei Augsburg und die Erdinger Hochterrasse. An diesen Standorten haben sich tiefgründige Parabraunerden entwickelt, die teilweise bis zur Pararendzina erodiert sind. Entsprechend finden sich dort auch mächtige Kolluvien aus umgelagertem Löss(-lehm).

3.2 Tertiär, Molassebecken

Als die Alpen sich zu einem Hochgebirge heraushoben, bildete sich im nördlichen Vorland etwa von der Donau bis zu den Alpen eine Senke, das sogenannte *Molassebecken*, das sich mit dem Abtragungsschutt der sich bildenden Alpen füllte. In Zyklen wurden marine (Meeresmolasse) und festländische (Süßwassermolasse) Sedimente abgelagert. Das Molassebecken kann vereinfacht in die Iller-Lech-Schotterplatten zwischen Iller und Lech, östlich des Lechs in das Oberbayerische Tertiärhügelland und östlich der Isar in das Niederbayerische Tertiärhügelland gegliedert werden. Das Tertiärhügelland wird überwiegend von sandigen bis kiesig-sandigen Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse (OSM) aufgebaut. Nur südwestlich von Passau tritt flächenhaft bedeutend die Obere Meeresmolasse mit schluffig-sandigen Sedimenten an die Oberfläche. In der OSM wurden auch tonige Partien abgelagert, die auf Stillwasserbereiche während der Ablagerung hinweisen. Während die sandig-kiesigen Bereiche der OSM karbonatfrei sind, kann in den tonigen Bereichen Karbonat angetroffen werden.

Die stark zertalte Landschaft der Iller-Lech-Schotterplatten wird in ihrem Kern aus Sedimenten der OSM aufgebaut. Am Top der Riedel stehen aber meist großflächig alt- und ältestpleistozäne Schotter und Schotterreste an, die teilweise durch jungpleistozäne meist schluffige Lehmdecken überprägt sind. Als Böden haben sich Pseudogleye bis Braunerden aus (kiesführendem) Lehm (Fließerden aus Deckenschotter, Molasse, Lösslehm) gebildet. Näher zur Donau hin und östlich der größeren Täler haben sich in jüngeren Lössablagerungen (Para-)Braunerden und Pararendzinen gebildet.

Das Tertiärhügelland prägen die asymmetrischen Talformen der Süd-Nord Richtung verlaufenden Täler. Flache ostexponierte Hänge weisen pleistozäne Überdeckungen auf, während an den steilen, westexponierten Hängen das Tertiär unmittelbar ansteht. Im Tertiärhügelland haben sich sowohl auf den sandigen als auch den lösslehmbeeinflussten schluffig-lehmigen Substraten meist Braun-

erden entwickelt, die unter Wald örtlich podsolig sind. Regional und im Osten des Niederbayerischen Tertiärhügellandes treten auch lehmig-tonige Braunerden mit Tendenz zur Pseudovergleyung auf. Am Nordwestrand im Übergang zum Donaumoos (Raum Schrobenhausen) finden sich Braunerden auf ausgedehnten Sandablagerungen. Eine Besonderheit der OSM ist ihr stellenweise erhöhter Arsengehalt, der in Talböden, wenn reduzierte As-haltige tertiäre Grundwässer an die Oberfläche gelangen, zu Überschreitungen der Prüf- und Maßnahmenwerte führen kann.

3.3 Moränen

Südlich des Tertiärhügellandes und der Schotterfluren schließen sich die Moränen des Rhein-, Iller-, Lech-, Isar-Loisach-, Inn- und Salzachgletschers an. Alle Vorlandmoränen enthalten unterschiedliche Anteile an zentralalpinen Geschieben. Die Moränen des Iller-, Lech-, Isar-Loisach- und Salzachgletschers sind stärker kalkalpin geprägt, während die Moränen des Rhein- und Inngletschers deutlich höhere Anteile an zentralalpinen Gesteinen aufweisen, was bei der Kartierung der Würmmoränen unterschieden wurde.

Bei ungünstigen Abflussbedingungen entstanden innerhalb der Moränen Niedermoore, die sich insbesondere mit der nach Süden zunehmenden Niederschlagsmenge im Nordstau der Alpen, über Übergangsmoore hin zu Hochmooren, entwickelt haben. Vergesellschaftet sind sie mit Moorgleyen und Humusgleyen.

Die Altmoränenlandschaft, überwiegend aus Moränen des Riß- (=Saale) Glazial, ist meist flachwellig mit geringer Reliefenergie. Die Altmoränen sind zum größten Teil mit Lösslehm bedeckt, in dem sich (Para-) Braunerden gebildet haben. Fehlt die Lösslehmdecke oder ist sie nur geringmächtig ausgebildet, dann herrschen kräftig rotbraun gefärbte (Para-) Braunerden aus kiesführendem Lehm bis Ton vor. Pseudogleye und in Erosionslagen auch Pararendzinen treten untergeordnet auf.

Die südlich angrenzenden Moränen des Würm- (=Weichsel) Glazials weisen eine deutlich höhere Reliefenergie auf. Schluffdecken sind auch hier weit verbreitet, jedoch in geringerer

Mächtigkeit. Vorherrschend kommen hier (Para-) Braunerden aus kiesführendem Lehm über meist karbonatischen Schluff- bis Lehmies vor. Dabei überwiegt die kalkalpin geprägte Variante dieser Bodenform gegenüber der zentralalpin geprägten. Untergeordnet treten auch Pararendzinen, Braunerde-Pararendzinen, Braunerde-Pseudogley und (Haft-)Pseudogley auf. In den Talniederungen finden sich Gleye und humose Gleye, sowie unterschiedliche Auenböden.

4. Alpen und Faltenmolasse

Eine unmittelbare Folge der alpinen Faltung ist die „aufgerichtete Molasse“. Bekannte Beispiele dieser „Aufbiegung“ der Vorlandmolasse sind der Hohenpeißenberg und der Irschenberg, die aus der Jungmoränenlandschaft herausragen. Den unmittelbaren Nordrand der Alpen bilden „sanfte“ Erhebungen der Faltenmolasse, des Helvetikums und der Flyschberge, an die sich die vorwiegend karbonatischen Gesteine der nördlichen Kalkalpen anschließen. Differenzierter, mit einer sehr komplizierten Tektonik und faziellen Unterschieden ausgestattet, ist das Allgäu.

Mittelgebirgscharakter haben die Berge aus Gesteinen der Faltenmolasse und des Flysch, die in einem schmalen, nach Osten ausdünnenden Streifen den Alpennordrand begleiten. Eine heterogene Serie von Gesteinen (Karbonate, Mergel, aber auch Sandsteine, Konglomerate und Tonschiefer) bilden das Ausgangsgestein der Bodenbildung. Die Ablagerung der Sedimente fällt in die Zeit von der Oberen Kreide bis zum Mittleren Eozän.

Bedingt durch die variable Schichtung verschiedener Gesteinsserien und ihre Auffaltung ist auch die Bodendecke äußerst heterogen. Vielerorts dominieren Nassböden (Pseudogley, Haftpseudogley, Stagnogley und Gleye) sowie ihre Übergänge zu Braunerden. Auf sandigeren Substraten entwickeln sich vorrangig Braunerden, mit zunehmenden Quarzgehalten auch Podsole und Pseudogley-Podsole.

In den nördlichen Kalkalpen dominieren mesozoische Karbonat- und Mergelgesteine, wobei die morphologisch härteren Kalk- und Dolomitsteine die felsigen Gipfelregionen bilden.

Gestein, Temperatur, Niederschlag und extreme Morphodynamik lassen in den Hochlagen nur eine geringe Bodenentwicklung zu. n Syrosem bzw. Lockersyrosem dominieren, die sich durch Humusakkumulation und Karbonatverwitterung zu Rendzinen entwickeln können. Bevorzugt unter Zwergsträuchern bildeten sich z.T. mehrere Dezimeter mächtige organische Auflagen, die zur Tangelrendzina führen oder über Fels und Schutt zu den Bodentypen Fels- bzw. Skeletthumusboden. In Abhängigkeit vom Karbonatgehalt kann es zur (sub)rezenten Bildung einer Terra fusca, teils auch einer Braunerde kommen. Auf exponierten Kalkplateaus führt intensive Verwitterung zur Ausprägung vielfältiger Karstformen mit einem Bodenmosaik, das vom Syrosem bis zur (reliktischen) Terra fusca reicht.

Wo Mergel- oder örtlich Sandsteine die Kalk- und Dolomitabfolgen unterbrechen, zeigt sich dies in sanfteren Landschaftsformen und tiefgründiger verwitternden, nährstoffreicheren Böden, weshalb sich hier oft Almwirtschaft entwickelte (im Allgäu Alpe genannt). In der Bodenentwicklung dominieren dann Braunerden, auf Mergelverwitterung auch Stauwasserböden und örtlich Moore.

In den tieferen Lagen der montanen Stufe dominieren (peri-)glaziale Ablagerungen (Fließerden und Moränen) sowie mächtige Hangschuttdecken, auf denen sich neben Rendzinen und Pararendzinen häufig tiefgründigere Böden, meist Terrae fuscae und Braunerden, aber auch Stauwasserböden entwickeln.

Vorwiegend kreidezeitlich bis alttertiären Alters sind die Gesteine des Helvetikums, die vorwiegend im Allgäu größere Flächen einnehmen. Sie weisen gegenüber den Gesteinen der nördlichen Kalkalpen zwar einen höheren Mergelanteil auf, unterscheiden sich in der Bodenentwicklung aber nur unwesentlich.

Typisch für alle Bereiche ist der kleinräumige Bodenformenwechsel, bedingt durch die Gesteinsheterogenität, die starke quartäre Überprägung und die rezente Morphodynamik einschließlich äolischer Beeinflussung.

4. Vegetation

Jörg S. Pfadenhauer¹

¹ Technische Universität München, Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, Emil-Ramann-Str. 6, 85354 Freising

Einführung und Übersicht

Wie der gesamte mitteleuropäische Raum wäre auch Bayern ohne die Wirkung des Menschen zu über 95 % mit Wald (vorwiegend Laubwald) bedeckt. Die übrigen knapp 5 %, das Offenland mit spärlichem oder fehlendem Baumwuchs, würden von Gewässern, Mooren und Hochgebirgsvegetation oberhalb der Baumgrenze eingenommen. In der heutigen Kulturlandschaft beträgt der Waldanteil noch gut ein Drittel der Landesfläche; davon sind allerdings nur wenige Prozentanteile als „natürlich“ einzustufen, entsprechen also hinsichtlich Struktur und Artenzusammensetzung den nicht vom Menschen veränderten standörtlichen Gegebenheiten der vergangenen drei- bis vier-tausend Jahre. Der größere Teil der bayerischen Wälder ist forstwirtschaftlich verändert oder besteht aus naturfernen Nadelholzforsten aus Rotfichte oder Waldkiefer.

Die Vegetation des Offenlands wird von landwirtschaftlich genutzten Flächen dominiert. Die Kulturpflanzenbestände der Äcker sind je nach Intensität der Bewirtschaftung (enge oder weite Fruchtfolgen, Ausmaß der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln) von mehr oder minder artenreichen Ackerwildpflanzengemeinschaften unterlegt. Einige unter ihnen wie die Haftdoldengemeinschaften auf flachgündigen Renzinen der Jurahochfläche werden heute in Feldflorareservaten geschützt, weil sie in der modernen Agrarwirtschaft keine Überlebenschance haben. Im Grünland haben wir es neben artenarmen, intensiv gedüngten und häufig gemähten bzw. beweideten Flächen mit Resten der Vegetation vorindustrieller Hudeweidesysteme zu tun, die mit dem Sammelbegriff Magerrasen bezeichnet werden und aus so unterschiedlichen Pflanzengemeinschaften wie Pfeifengraswiesen auf (wechsel-)feuchten Böden, Trespenwiesen auf Karbonat- und

Borstgrasrasen auf Silikatböden bestehen.

Die Vegetation der Feuchtgebiete war dort, wo Grundwasser nahezu ganzjährig knapp unter der Bodenoberfläche liegt, weitgehend baumfrei. Das betrifft vorwiegend die Moore, von denen die meisten inzwischen entwässert und land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung zugeführt wurden. Dementsprechend hoch ist der Anteil an Renaturierungsprojekten, deren Ziel u. a. die Reaktivierung der Kohlenstoffspeicherfunktion ist. Vor allem am Alpenrand und in den Mittelgebirgen sind allerdings noch viele Moore nahezu ungestört erhalten geblieben. Zu den Feuchtgebieten zählen auch die Auen der Fließgewässer, deren Vegetation durch mehr oder minder regelmäßige Überflutung sowie durch Materialtransport geprägt ist. Auwälder und -gebüsche begleiten auch heute noch viele Flüsse in Bayern, wenngleich ihr Anteil durch flussbauliche Maßnahmen der Vergangenheit abgenommen hat. Selten sind die baumfreien, unmittelbar von Sedimentation und Erosion betroffenen flussnahen Gebiete, die nurmehr an wenigen Stellen wie an der oberen Isar zwischen Vorderriß und Wallgau erhalten geblieben sind.

Im Folgenden charakterisiere ich nur die wichtigsten auf den Exkursionen besuchten Pflanzengemeinschaften in knapper Form. Als weiterführende Literatur verweise ich auf Walentowski et al. (2013; Wälder in Bayern), ferner auf Mucina et al. E (1993; Österreich), Pott (1995; Deutschland) und Ellenberg & Leuschner (2010). Die Karte der natürlichen Vegetationsgebiete Bayerns von Seibert (1968) ist trotz einiger nicht mehr aktueller Grenzen und Bezeichnungen immer noch eine gute Übersicht. Verwiesen sei auch auf die Karte der natürlichen Vegetation Europas (Bohn et al. 2000). Die Anbindung mitteleuropäischer an die Vegetation der Erde vermitteln

Pfadenhauer & Klötzli (2014). Die Nomenklatur der Pflanzenarten folgt www.theplantlist.org. Der Bezug der beschriebenen Vegetationseinheiten zu den Exkursionen wird in Tab. 1 hergestellt.

Sommergrüne Laubwälder

Südbayern gehört zur Vegetationszone der nemoralen sommergrünen Laubwälder, die man auf der Nordhemisphäre außerhalb Europas auch im Osten Nordamerikas und Asiens findet. Ihre wichtigsten Merkmale, die sie von immergrünen Laubwäldern unterscheidet, sind eine ausgeprägte jahreszeitliche Rhythmik mit Blattabwurf im Herbst und Wiederaustrieb im Frühjahr sowie eine mehr oder minder artenreiche Blütenpflanzenflora in der Feldschicht. Deren Existenz wird durch die fehlende Belaubung der Bäume im zeitigen Frühjahr sowie den (im Vergleich zu tropischen und subtropischen Wäldern) höheren Lichteinfall auf die Bodenoberfläche bei weniger dichtem Kronendach und niedrigerem Sonnenstand im Sommer ermöglicht. Die Blätter erreichen eine Lebensdauer von rund sieben Monaten; sie sind meist mittelgroß (noto- bis mesophyll), oft gelappt oder gefiedert (Ahorn, Esche) und enthalten kaum Festigungselemente (Sklerenchym), sind also malakophyll. Der Überschuss der von den Blättern erzeugten Assimilate wird im Spätsommer und Herbst in den Holzkörper und die Rinde von Ästen, Stamm und Wurzeln verlagert, dort als Stärke gespeichert und steht nach deren Mobilisierung im Frühjahr für den Wiederaustrieb zur Verfügung. Die oberirdische Phytomasse der Bäume in naturnahen sommergrünen Laubwäldern, d. h. mit 20–30 % alten Individuen (BHD > 70 cm), liegt zwischen 200 und 400 t Trockenmasse pro ha; hinzu kommen die Grob- und Feinwurzeln, deren Anteil mit 20–40 % der oberirdischen Baumphytomasse anzusetzen ist. Der Blattanteil liegt bei lediglich 2–3 %; allerdings müssen die Bäume etwa 30 % ihres jährlichen Kohlenstoffgewinns und ihres Nährstoffspeichers in den Aufbau der Blätter stecken. Man unterscheidet zonale Rotbuchenwälder, extrazonale Stiel- bzw. Traubeneichenwälder,

azonale Edellaubholzwälder sowie verschiedene azonale Feuchtwälder aus Erlen oder Birken in Flussauen und in Mooren.

Die Hauptbaumart der mitteleuropäischen und damit auch der südbayerischen sommergrünen Laubwälder ist die Rotbuche (*Fagus sylvatica*). Sie ist aufgrund ihrer physiologischen Eigenschaften (hohe Wachstumsgeschwindigkeit und Schattenverträglichkeit in der Jugend, geringe Schädlingsanfälligkeit) der konkurrenzstärkste Baum. Sie ist (neben der Eiche, s. unten) eine typische Klimaxart: Von den schweren, endospermreichen Früchten (Bucheckern), die nur alle 6–7 Jahre, dann aber in erheblicher Menge erzeugt werden, bleiben nach dem Verlust durch Tierfraß noch genügend „vergessene“ Samen übrig, so dass sich der Waldbestand an Ort und Stelle erneuern kann („Platzhalter-Strategie“ der Klimaxbäume). Rotbuchenwälder bilden auf Normalstandorten ohne Nährstoff- (Mangel), Wasser- (Trockenheit, Nässe) oder Klimastress (höhere Gebirgslagen, Kaltluftgebiete) die zonale, d. h. großklimatisch bedingte Vegetation und würden ohne menschlichen Einfluss rund 85 % der Fläche Bayerns bedecken (Walentowski et al. 2013). Im Wesentlichen kann man in Abhängigkeit von der Höhenlage und der Bodenqualität (insbesondere der Basenversorgung) vier **Buchenwaldtypen** unterscheiden:

a) Hainsimsen-Buchenwald

auf basenarmen, sauren, tiefgründigen Silikatverwitterungsböden (Humusform Moder; „Moder-Buchenwälder“), im Vergleich zu den unter b–c genannten Typen eher artenarm (Anzahl der Blütenpflanzen pro 200 m² < 15, aber einige weit verbreitete azidophytische Moose). In höheren Berglagen mit Rotfichte und Weißtanne angereichert. Benannt nach *Luzula luzuloides* (Weiße Hainsimse).

b) Waldmeister-Buchenwald

auf basenreichen, karbonatarmen, meist tiefgründigen, schwach sauren Böden (Humusform Mull; „Mull-Buchenwälder“), ebenfalls mit Fichte und Tanne in den höheren Lagen. Artenreich (20 bis >30 Blütenpflanzen pro 200

m²), mesophytische Waldbodenpflanzen wie *Asarum europaeum* (Haselwurz), *Viola reichenbachiana* (Waldveilchen), *Galium odoratum* (Waldmeister) u. v. a.

c) Orchideen-Buchenwald

auf Renzinen aus Karbonatgesteinen, meist süd exponiert; leitet zu thermophilen Eichenwäldern über. Benannt nach schattenverträglichen Waldorchideen der Gattung *Cephalanthera* (Waldvögelein).

d) Alpenheckenkirschen-Buchenwald

auf basenreichen Böden vorwiegend aus Karbonatgesteinen in montaner Lage der Kalkvor- und Kalkhochalpen mit Rotfichte, Weißtanne und Bergahorn („Bergmischwald“; Ewald 1997), in oberen Lagen (Übergang zur subalpinen Stufe) mit subalpinen Hochstauden im Unterwuchs, z. B. *Adenostyles alliariae* (Alpendost), *Lactuca alpina* (Alpenmilchlattich). Die Bestände sind besonders artenreich (30–50 Blütenpflanzen pro 200 m²). Benannt nach *Lonicera alpigena* (Alpenheckenkirsche), einer sog. präalpiden (d. h. in im Umgriff der Alpen vorkommenden) Sippe.

Wo die Standortbedingungen für die Buche ungünstig sind (sommerliche Trockenheit und Frühfröste, feuchte bis mäßig nasse oder zeitweilig überflutete sowie nährstoffarme und stark versauerte Böden), können sich die in der Jugend lichtbedürftigen Eichen durchsetzen, sofern die Sommer für das Ausreifen ihrer Früchte warm und lang genug sind. Die im Exkursionsgebiet vorherrschende Stieleiche (*Quercus robur*) ist physiognomisch prägend und bildet mit einigen anderen Baumarten folgende Typen von **Eichenmischwäldern**:

a) Eichen-Hainbuchenwälder

in subkontinentalen Becken- und Tallagen (außerhalb des Überflutungsbereichs) auf unterschiedlichen Böden als extrazonale Vegetation der im kontinentalen Osteuropa (Russland) bis zum Ural reichenden zonalen Linden-Stieleichenwälder. Regelmäßig beigemischt und namengebend ist die Hainbuche (*Carpinus betulus*). Die Feldschicht im Unterwuchs ähnelt derjenigen der Waldmeister-Buchenwälder.

Sowohl Eiche (wichtiges Bauholz u. a. für Fachwerk, Lieferant von Nahrung für die Schweinemast in Wäldern) als auch die stockausschlagfreudige („resprouter“) und deshalb im Nieder- und Mittelwaldbetrieb begünstigte Hainbuche wurden über Jahrhunderte präindustrieller Landnutzung zu Ungunsten der Buche gefördert; so entstanden anthropogene Hainbuchenwälder auch außerhalb der Becken- und Tallagen anstelle von Buchenwäldern wie im Bereich der Münchner Schotterebene.

b) Eichen-Ulmen-Auwälder

(azonal) in der (bei ungestörtem Flussregime) regelmäßig, wenn auch selten überfluteten Hartholzauwe mit Stieleiche, vorwiegend Flatterulme (*Ulmus laevis*) und Esche (*Fraxinus excelsior*).

c) thermophile Eichenmischwälder

(extrazonal) auf wärmebegünstigten Südhängen vorwiegend mit Traubeneiche (*Quercus petraea*), in Südbayern am Rand der Donaubene und im Jura vereinzelt (häufiger im Südwesten Deutschlands, zonal mit Flaumeiche *Quercus pubescens* im submedi-terränen Raum südlich der Alpen).

Schließlich gehören auch Waldbestände an edaphischen Sonderstandorten zu den sommergrünen Laubwäldern. Auf Kolluvien am Hangfuß und in luftfeuchten Schluchten gehören sie zu den Edellaubholzwäldern aus Esche (*Fraxinus excelsior*), Bergahorn (*Acer campestre*) und Bergulme (*Ulmus glabra*). An nassen und/oder stark gestörten Standorten bestehen sie aus Pioniergehölzen wie Erlen und Weiden. Beispiele sind Erlenbruchwälder aus *Alnus glutinosa*, Erlen-Eschenwälder sowie Grauerlen- (*Alnus incana*) und Weidenauen (mit zahlreichen Arten der Gattung *Salix*).

Immergrüne Nadelwälder und -forsten

Auf Sonderstandorten thermischer (extreme Kaltluftsenken in kühlen Gebirgslagen, Grobblockhalden) und edaphischer Art (niedrige Nährstoffverfügbarkeit z. B. in nassen sauren Torfen oder trockenen, flachgründigen Karbonatböden; azonal) sowie in der hochmontanen

und subalpinen Stufe der Gebirge (zonal) dominieren immergrüne Nadelbäume. Sie sind hier den Laubbäumen aufgrund ihrer ausgeprägten Stresstoleranz (z. B. größere Frostresistenz und eingeschränkte Transpiration der sklerophyllen Nadeln) überlegen. Die beteiligten Baumarten sind Rotfichte (*Picea abies*), Weißtanne (*Abies alba*) sowie Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Bergkiefer (*Pinus mugo*), Moorkiefer (*Pinus uncinata* ssp. *uliginosa*) und Zirbelkiefer oder Arve (*Pinus cembra*). Fichte und Waldkiefer wurden mit Beginn der Industrialisierung ab etwa Mitte des 19. Jahrhunderts zunächst auf Flächen aufgeforstet, deren Böden durch die vorhergehende Bewirtschaftung degradiert waren (Stoffentzug durch Waldweide, Streunutzung, Wald-Feld-Wechselwirtschaft) und sich nicht für Ackerbau eigneten; später hat man v. a. Fichtenforste auch auf besseren Böden angelegt.

Zu den **oreoborealen Fichtenwäldern** gehören die von Fichten dominierten Wälder in der hochmontanen und subalpinen Stufe der Mittelgebirge (Bayerischer Wald ab etwa 1.150 m NN) und der Kalkhoch- (ab etwa 1.800 m) und -voralpen (ab etwa 1.600 m). Sie bilden dort einen rund 150–200 Höhenmeter umfassenden Gürtel oberhalb des Buchenwalds (submontan bis mittelmontan) und ähneln floristisch und physiognomisch teilweise dem borealen Waldland Nordeurasiens. Die Ursache für ihr Auftreten sind wie dort die langen und kühlen Winter und die kurze Vegetationszeit (drei bis vier Monate), deren Dauer für die phänologische Entwicklung der sommergrünen Laubbäume (abgesehen von der Pionierbaumart Eberesche, *Sorbus aucuparia*) nicht ausreicht. Physiognomisch bezeichnend ist die schmalkronige, tief bestete Hochlagenfichte, die in der subalpinen Stufe, der Kampfzone des Walds, zu Gruppen zusammentritt. Ohne Einfluss des wirtschaftenden Menschen würden sich diese Fichtenwälder, ähnlich wie in der borealen Zone, katastrophenartig verjüngen, vermutlich durch Windwurf und Borkenkäferbefall, wie sich eindrucksvoll im Nationalpark Bayerischer Wald gezeigt hat. Feuer dürfte dagegen kaum eine Rolle spielen.

Je nach Substrat unterscheidet man **Silikat- und Karbonatfichtenwälder**; erstere zeichnen sich durch azidophytische Moose und Säurezeiger unter den Blütenpflanzen in der Feldschicht aus (insbesondere durch Beersträucher wie Heidelbeere *Vaccinium myrtillus* und Preiselbeere *V. vitis-idaea*). Letztere gleichen im Unterwuchs eher dem hochstaudenreichen Alpenheckenkirschen-Buchenwald, wegen der sauren Nadelstreu angereichert mit einigen Azidophyten. Außer diesen höhenzonalen Vegetationstypen gibt es azonale Fichtenwälder an Sonderstandorten wie den **Karbonat-Blockfichtenwald** auf groben Blockhalden aus Hartkalken und einem Kleinmosaik verschiedenster Standorte (offener Kalkfels bis Tangelhumus) oder den **Peitschenmoos-Fichtenwald** in kalten Talmulden der silikatischen Mittelgebirge, an Hochmoorrändern und im Fylschgebiet.

Die übrigen natürlichen Nadelwälder haben flächenmäßig nur eine untergeordnete Bedeutung in Südbayern. Am weitesten verbreitet ist das **Bergkiefern- (*Pinus mugo*)-Krummholz** im Waldgrenzökoton der subalpinen Stufe. Die Bergkiefer (Latsche) ist mit ihren niederliegenden Ästen perfekt an Schneeschub und Steinschlag angepasst und ein Pionier auf Gesteinsschutt. Im Unterwuchs ist die Behaarte Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*) auf den vorherrschenden Karbonatböden häufig. Erwähnt werden sollen die **Zirbelkiefernwälder** mit *Pinus cembra* als Klimaxbaum. Die extrem frostresistente, langsamwüchsige Art, genetisch nahe verwandt mit der Sibirischen Kiefer (*Pinus sibirica*) und wahrscheinlich von ihr abstammend, bildet kleine, anthropogen stark aufgelichtete Bestände (begehrtes Holz + Beweidung) im Wettersteingebirge und in den Berchtesgadener Alpen. Ihre Hauptvorkommen liegen in den kontinentalen (strahlungsintensiven) Zentralalpen. Auf die montane Stufe sind die **Weißtannenwälder** aus *Abies alba* beschränkt. Die Tanne ist neben der seltenen Eibe (*Taxus baccata*) der einzige ausschließlich in der nemoralen Zone vorkommende Nadelbaum Mitteleuropas. Abgesehen von ihrer regelmäßigen Beimischung in den laubholzbe-

herrschten Bergwäldern (mit drastischem Rückgang seit rund 150 Jahren durch Verbiss und Kahlschlagswirtschaft) bildet sie im Exkursionsgebiet Reinbestände vorwiegend auf wechselfeuchten bis -nassen, sauren, basenarmen Böden (Walentowski 1998). **Moorkiefernwälder** mit der aufrechten („Spirke“) und der niederliegenden Form („Latsche“) von *Pinus uncinata* ssp. *uliginosa* finden sich im Randgehänge von Hochmooren (Abschnitt 4).

Die meisten der heutigen **Waldkiefernwälder**, die auf sauren, kolloidarmen pleistozänen oder kreidezeitliche Sanden vorkommen, sind anthropogen („**Sauerhumus-Kiefernwälder**“; Walentowski et al. 2013). Sie entstanden durch Aufforstung nicht mehr genutzter Hude-landschaften oder einfach durch deren Brachlegung, weil sich auf den niedrigwüchsigen, offenen Magerrasen die Waldkiefer als Pionier leicht von selber ansiedelt. Die natürliche Vegetation, die sich langfristig ohne menschliches Zutun einstellen würde, wäre meist ein Hainsimsen-Buchenwald. Die Waldkiefer kommt aber auch auf Karbonatböden vor („**Karbonat-Kiefernwälder**“), wobei der häufigste Vegetationstyp der präalpine Schneeheide-Kiefernwald ist (Hölzel 1996), benannt nach der im zeitigen Frühjahr rote Teppische bildenden Schneeheide (*Erica herbacea*). Er kommt als viele Jahrhunderte dauerndes Sukzessionsstadium auf trockenen Kiesalluvionen der Alpenflüsse vor, aber auch an steilen, südexponierten föhnbeeinflussten Dolomithängen der Kalkhoch- und -voralpen, wobei nur die extremsten Stellen primäre Kiefernwälder tragen dürften. Seine Weiterentwicklung zu Buchenwäldern an weniger extremen Standorten wird durch Beweidung mit Schafen aufgehalten; in Anbetracht der außerordentlich großen Artenfülle der Feldschicht, die sich aus verschiedenen Herkünften rekrutiert (submediterran, präalpid, alpin), ist Waldweide hier aus Naturschutzsicht positiv.

Vegetation der Feuchtgebiete

Zu Feuchtgebieten gehören Stand- und Fließgewässer, mehr oder minder regelmäßig überflutete Auen sowie die Moore mit ganzjährig

oberflächennah anstehendem Grundwasser. Allen ist gemeinsam, dass sie von Wasserüberschuss geprägt sind. Unter den beteiligten Arten findet man deshalb zahlreiche Spezialisten mit Vorrichtungen, die es ihnen ermöglichen, ständig oder zeitweise Wasserüberschuss und damit Sauerstoffmangel im Wurzelraum zu ertragen. Erlen, Pappeln und Weiden können einige Zeit auf anaerobe Atmung im Wurzelraum umschalten; das hierbei entstehende Äthylen regt die Bildung von Lentizellen am Stammfuß und von Adventivwurzeln an. Dadurch verbessert sich die Sauerstoffaufnahme. Krautige Pflanzen besitzen nahezu ausnahmslos ein Luftgewebe (Aerenchym) in Spross und Blättern.

Geologisch (und bodenkundlich) wird mit dem deutschen Begriff **Moor** (engl. *peatland*) jede natürliche (d. h. an Ort und Stelle entstandene) Torflagerstätte mit einer Mindestmächtigkeit von 30 cm in entwässertem Zustand bezeichnet. Aus ökologischer Sicht spricht man von Mooren (engl. *mires*), wenn zum gegenwärtigen Zeitpunkt Boden, Tier- und Pflanzenwelt während des überwiegenden Teils des Jahres durch Wasserüberschuss geprägt sind und biogene Sedimente (Torf, Kalk) gebildet werden (Joosten & Clarke 2002). Je nach Oberflächengestalt, Entstehungsweise und Chemismus von Torf und Moorwasser unterscheidet man Grundwassermoore (Niedermoore) und Regenwassermoore. Erstere werden von mineralstoffreichem Grund- oder Hangwasser gespeist (minerogen) und liegen zumeist in Talniederungen und an Hängen mit ausstreichendem Grundwasserleiter. Letztere kommen in Südbayern fast ausschließlich in Form von Hochmooren mit einem mehrere Meter über dem Niveau des mineralischen Grundwassers aufgewölbten Torfkörper vor, der ausschließlich von Regenwasser versorgt wird (ombrogen). Diese Aufwölbung wird von Arten der Moosgattung *Sphagnum* verursacht, die auf Grund ihres Zellaufbaus in der Lage sind, Wasser kapillar anzuheben, eine Eigenschaft, die auch im Torfkörper erhalten bleibt.

In Südbayern sind Moore vor allem in den breiten Talmulden der Donau (z. B. das

Donaumoos westlich von Ingolstadt, das mit 18.000 ha größte, allerdings vollständig kultivierte Niedermoor Süddeutschlands) und ihrer Nebenflüsse (Inn, Isar, Lech) sowie im voralpinen Hügel- und Moorland und in Alpentälern weit verbreitet. Von den rund 165.000 ha Grund- bzw. 45.000 ha Regenwassermoor sind über 90 % bzw. knapp 75 % kultiviert, d. h. entwässert und in land- bzw. forstwirtschaftliche Nutzflächen überführt (Grünland, z.T. auch Ackerland, Fichten- bzw. Kiefernforsten). Da der Torf bei Luftzutritt rasch abgebaut wird (unter Ackernutzung rund 2 cm pro Jahr) und dabei CO₂ und N₂O freigesetzt wird, tragen entwässerte Moore nicht unerheblich zur Klimaerwärmung bei. Dennoch gibt es in Südbayern vor allem am Alpenrand noch eine Reihe wenig gestörter und nahezu naturbelassener Moore. Ihre Vegetation ist äußerst vielseitig; sie reicht von Röhrichten und Großseggenrieden auf nährstoffreichen Torfen zu Kleinseggenrieden auf karbonatreichen, mesotrophen Nassböden (Kopfbinsenried, Davallseggenried u.v.a.); letztere sind bekannt wegen ihres Reichtums an Pflanzen der alpinen Stufe, Relikten aus der glazialen Tundrenzeit und anderen Seltenheiten wie zahlreichen Erdorchideen. Hochmoore, die meist inselförmig auf einem Grundwassermoor entstanden sind und ihren Vorkommensschwerpunkt am euhumiden, klimatisch ozeanisch geprägten Alpenrand haben, tragen auf dem Plateau (Hochmoorweite) eine hoch spezialisierte Flora, die mit Nässe und extremer Nährstoffarmut (bes. Phosphor) auskommen muss. Die beteiligten Arten wie Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) und Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*) besitzen Strategien zur Nährstoffnutzungseffizienz.

Waldgrenzökoton und alpine Stufe

Das Waldgrenzökoton der subalpinen Stufe nimmt den Raum zwischen Wald- (timberline) und Baumgrenze ein (treeline; Körner 2012). Als (geschlossenen) „Wald“ bezeichnet man eine Ansammlung von Bäumen, deren Kronen sich berühren oder gar überschneiden, als „Baum“ ein Holzgewächs, das aus einem Stamm und einer Krone besteht und mindes-

tens drei Meter hoch ist. Die Baumgrenze verbindet die höchsten Vorkommen von Bäumen. Zwischen Wald- und Baumgrenze befindet sich im Kalkalpin der Alpennordseite zumeist ein Mosaik aus Bergkieferengebüsch (Krummholz), einzeln oder in Gruppen stehenden Fichten, Zwergstrauchheiden vor allem aus der Behaarten Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*), auf Tangelhumus aber auch aus der Rostroten Alpenrose (*R. ferrugineum*), die sonst für die silikatischen Zentralalpen charakteristisch ist, sowie weiterer azidophytischer Zwergsträucher wie Heidelbeere, Preiselbeere und Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*). Auch subalpine Rasen kommen vor, unter denen der Rostseggenrasen mit der namensgebende Rostsegge (*Carex ferruginea*) und der (beweidete) Borstgrasrasen (mit dem Borstgras *Nardus stricta*) auf karbonatfreien Gesteinen (wie Lias-Kieselskalk) die häufigsten sind. Wo das Waldgrenzökoton scheinbar fehlt, hat der Mensch den Wald über die Jahrtausende der Almwirtschaft (ausgehend von der alpinen Stufe) durch Brandrodung, Holzeinschlag und Beweidung beseitigt, sodass die Waldgrenze heute vielerorts um rund 200 Höhenmeter tiefer liegt als dem Klima der letzten 3.000 Jahre entsprechen würde. Die natürliche Waldgrenze würde in den wolken- und niederschlagsreichen bayerischen Kalkvoralpen nordseitig bei rund 1.600 m NN, südseitig etwa 100 m höher, in den etwas strahlungsreicheren Kalkhochalpen bei etwa 1.800–1.900 (2.000) m NN liegen.

Definitionsgemäß befindet sich die alpine Stufe oberhalb der klimatischen Baumgrenze. Die Grenztemperatur liegt bei rund +6 °C im Wurzelraum (Mitteltemperatur während der Vegetationszeit; Körner 2012); unterhalb dieses (weltweit gültigen) Schwellenwerts steigt die Zeit für die Verdoppelung eines Zellverbands so rapide (exponentiell) an, dass die Pflanze kein Festigungsgewebe mehr bilden kann. Die Baumgrenze ist im Gebiet der Kalkvoralpen bei rund 1.700–1.800 m NN, in den Kalkhochalpen bei etwa 2.000–2.100 m NN anzusetzen. Die natürliche Vegetation der alpinen Stufe besteht im Wesentlichen aus zwei **Rasentypen**.

a) Polsterseggenrasen

mit der Polstersegge *Carex firma* als Pioniervegetation auf Karbonatgestein, vergesellschaftet mit der arktisch-alpinen Silberwurz (*Dryas octopetala*), bei Humusaufgaben in und zwischen den Polstern von mehr als 5 cm Mächtigkeit auch azidophytische Spaliersträuchern wie die Netzweide (*Salix reticulata*) und die Alpenazalee (*Loiseleuria procumbens*).

b) Blaugras-Horstseggenrasen

mit dem Blaugras (*Sesleria caerulea*) und der Polstersegge (*Carex sempervirens*); häufig treppenartige Struktur (gebremste Schuttbewegungen durch Horste von Blaugras und Polstersegge: Schuttfänger) und zahlreichen schön blühenden alpinen Pflanzen wie Stengelloser Enzian (*Gentiana clusii*), Mehlprimel (*Primula farinosa*), Edelweiß (*Leontopodium nivale* ssp. *alpinum*) u. v. a.; artenreich.

Die eher für die subalpine Stufe typischen Rostseggen- (auf Karbonat) und Borstgrasrasen (auf Silikat) kommen auf tiefgründigeren Böden auch noch in der alpinen Stufe vor. Weitere Pflanzengemeinschaften sind auf Sonderstandorten beschränkt wie die alpinen Moore mit dem auch in der arktischen Tundra verbreiteten Scheuchzers Wollgras (*Eriophorum scheuchzeri*), die windexponierten, auch im Winter schneefreien Geländerücken mit dem vor allem in kontinental getönten Hochgebirgen Nordamerikas und Asiens verbreiteten Nacktriet (*Kobresia myosuroides*) sowie die alpine Karbonatschuttvegetation auf den ausgedehnten Schutthalden des Kalkalpins mit dem Täschelkraut *Thlaspi rotundifolium*.

Es gibt reichlich Literatur zur Ökologie von Pflanzen der alpinen Stufe der Hochgebirge (zusammenfassend s. Körner 2003). Beispiele: Polsterwuchs dient der Wasser- und Nährstoffspeicherung (Akkumulation von organischer Substanz und eingewehtem Staub im Polsterinnern) und kappt Temperaturextreme im Innern; niedriger Wuchs wie bei den Spaliersträuchern mit Stämmchen, die knapp oberhalb oder knapp unterhalb der Bodenoberfläche wachsen, optimiert den pflanzlichen Metabolismus in der warmen bodennahen

Luftschicht. Weitere Mechanismen sind Frostresistenz durch Gefriertoleranz im Zellverband, Frostvermeidung durch Verlagerung der Überdauerungsorgane der die Pflanzendecke dominierenden Hemikryptophyten einige Zentimeter unter die Bodenoberfläche u. v. m.

Anthropogene Vegetation

Unter anthropogener Vegetation fasst man die von Wildpflanzen (nicht von Kulturpflanzen) gebildete Pflanzendecke zusammen, die sich auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und in Verkehrs-, Industrie- und Siedlungsgebieten befindet. Da die Artenzusammensetzung je nach Art und Intensität der Nutzung erheblich variiert, wird die Vegetation nach sog. Natürlichkeitsgraden bewertet, die vereinfacht von „natürlich“ über „naturnah“, „halbnatürlich“ (zusammen als „naturbetont“ bezeichnet), „naturfern“ und „naturfremd“ („kulturbetont“) reichen. Einer der Indikatoren, um den Natürlichkeitsgrad festzustellen, ist der Anteil gebietsfremder Arten, die z. B. als Neophyten seit 1.500 n. Chr. nach Europa eingeschleppt wurden und sich dann hier etablieren und ausbreiten konnten. Dabei bevorzugen sie vom Menschen geschaffene und genutzte Flächen, weil sie am wenigsten mit Konkurrenten der seit Jahrtausenden etablierten Vegetation konfrontiert werden. Weitere Indikatoren sind in Wäldern z. B. der Anteil von Totholz, die Baumartenmischung und die innere Struktur.

Bei der anthropogenen Vegetation findet man deshalb Pflanzengemeinschaften mit ganz unterschiedlichem Natürlichkeitsgrad. „Natürlich“ oder „naturnah“ sind viele Wälder in schwer zugänglichen Gebirgslagen mit Waldtypen wie dem Alpenheckenkirschen-Tannen-Buchenwald oder dem Silikat- und Karbonatfichtenwald der hochmontanen Stufe. Naturfern sind dagegen Fichtenforste auf Buchenwaldstandorten, in denen auch der Unterwuchs kaum mehr Arten der potentiellen Laubwaldvegetation enthält.

Die **Acker-Wildpflanzengemeinschaften** sind bei der konventionellen Bewirtschaftung mit dem praxisüblichen Einsatz von Herbiziden, einer engen Fruchtfolge und häufiger Boden-

bearbeitung stark ausgedünnt. Überleben können dort nur Arten mit flexiblem Lebenszyklus (Samenkeimung und Bildung mehrerer Generationen während der gesamten Vegetationsperiode), hoher Regenerations- und Fortpflanzungseffizienz (Erzeugung großer Samenmengen und Aufbau einer langlebigen Samenbank bei Einjährigen, rasche Erneuerung aus zerrissenen unterirdischen Sprossen bei Mehrjährigen), Salzverträglichkeit (Nitratüberschuss) und Aufbau von Herbizidresistenzen. Von den rund 300–350 Blütenpflanzen, die auf Äckern vorkommen, sind das kaum mehr als 10–20, die dazu in der Lage sind und deshalb z. B. auf Maisäckern noch eine Überlebenschance haben. Beispiele für Einjährige (Therophyten) sind die Vogel-Sternmiere (*Stellaria media*), das Kleblaubkraut (*Galium aparine*) und das Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), die auch in überdüngten Hausgärten vorkommen, sowie die Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*); mehrjährig (Rhizomgeophyten) ist z. B. die Ackerquecke (*Elymus repens*).

Die heute selten gewordene Mehrzahl der potentiellen Ackerwildkräuter und -gräser haben (außer in Feldflorareservaten wie im südlichen Jura bei Titting) nur dort überlebt, wo die landwirtschaftliche Bodennutzung weniger intensiv ist oder gar auf den Einsatz von Herbiziden verzichtet wird wie im Organischen Landbau. Dazu gehören die Arten der **Ackerfrauenmantel-Kamillengesellschaft** mit der Echten Kamille (*Matricaria chamomilla*), wohl die flächenmäßig häufigste Ackerwildpflanzengemeinschaft auf lehmigen Böden. Selten sind die einleitend bereits erwähnten **Haftdoldenäcker** mit zahlreichen auffällig blühenden Arten, von denen ein Großteil schon in der Jungstein- und Bronzezeit mit Kulturpflanzen vorwiegend aus Anatolien und dem Nahen Osten eingeschleppt wurden. Beispiele sind der Ackerrittersporn (*Consolida regalis*), der Frauenspiegel (*Legousia speculum-veneris*) und die Haftdolde (*Caucalis platycarpus*). Auf basenarmen Sandböden waren noch vor 30 Jahren **Lämmersalatäcker** mit dem Sandmohn (*Papaver argemone*) und dem Lämmersalat (*Arnoseris minima*) weit verbreitet.

Auch das **Grünland**, gleichgültig, ob beweidet oder gemäht, ist im Exkursionsgebiet wegen der recht intensiven Düngung mit Gülle und häufigen Nutzung überwiegend artenarm und muss als „naturfern“ eingestuft werden. Es besteht aus regenerationsfreudigen Arten wie dem Deutschen Weidelgras (*Lolium perenne*), dem Weißklee (*Trifolium repens*) u. a. und ist häufig von Weideunkräutern wie dem Stumpfblättrigen Ampfer (*Rumex obtusifolius*) durchsetzt. „Klassische“, noch bis in die 70er Jahre verbreitete, artenreiche 2–3schürige Mähwiesen des Typs Glatthafer- (im Flachland) bzw. Goldhaferwiese (im Bergland) sind stark zurückgegangen. Am Alpenrand und in den Alpentälern sieht man solche Wiesen noch häufiger; sie bestechen durch die Anzahl schön blühender Arten wie dem Wiesenbocksbart (*Tragopogon pratensis*), dem Wiesenpippau (*Crepis biennis*) und dem Wiesenstorchschnabel (*Geranium pratense*). Bemerkenswert ist, dass einige der hochwüchsigen Kräuter und Gräser wie das Knautgras *Dactylis glomerata* den natürlichen Schwerpunkt ihrer Verbreitung in der Waldsteppenzone Osteuropas und Westsibiriens haben. Im Bergland, das auch heute noch weniger intensiv bewirtschaftet werden kann, sind niedrigwüchsige Arten wie z. B. Johanniskraut (*Hypericum div. spec.*) und Bergstorchschnabel (*Geranium sylvaticum*) häufiger. Erwähnt seien auch die streng geschützten Feuchtwiesen, die heute noch in Resten in Flussauen und in schwach entwässerten Grundwassermooren vor allem im Voralpinen Hügel- und Moorland vorkommen; **Sumpfdotterblumenwiesen** mit *Caltha palustris* als namengebender Art und vor allem **Pfeifengraswiesen** auf basenreichen, grund- oder stauwasserbeeinflussten Böden mit dem Pfeifengras (*Molinia caerulea*) enthalten zahlreiche seltene Arten (wie den Schwalbenwurzenzian *Gentiana asclepiadea*, die Sibirische Schwertlilie *Iris sibirica* und das Glazialrelikt Sumpftragant *Swertia perennis*).

Ebenso streng geschützt sind die Reste der alten, vorindustriellen Hudelandschaften. Sie bestehen in Silikatgebirgen wie im Bayerischen Wald in den mittleren und höheren Berglagen

sowie im Alpenraum auf karbonatarmen Böden aus (oben schon erwähnten) **Borstgrasrasen**, für die lokal der Bergwohlverleih *Arnica montana* charakteristisch ist. Diese, ursprünglich beweidete und aus Hainsimsen-Buchenwäldern oder Silikat-Fichtenwäldern entstandene „halbnatürliche“ Vegetation ist heute deshalb selten, weil die meisten Flächen entweder durch Düngung in Wirtschaftsgrünland überführt oder aufgeforstet wurden.

Soweit es sich um Kalk- und Dolomitgestein handelt, haben sich im Lauf der jahrhundertelangen Holznutzung, Waldstreugewinnung und Beweidung (vorwiegend Schafe und Ziegen) aus Orchideen- und Waldmeister-Buchenwäldern halbnatürliche **Kalkmagerrasen** entwickelt, von denen einige auf großmaßstäblicher Ebene zu den weltweit artenreichsten Pflanzengemeinschaften gehören (Wilson et al. 2012). Je nach geographischer Lage, Nutzung (bzw. heute eher Pflege) und lokaler Position findet man verschiedene Typen, von denen ich drei nennen möchte:

a) Enzian-Schillergrasrasen

als Typ eines beweideten Kalkmagerrasen des Juragebiets, in Bayern weit verbreitet, mit dem Zierlichen Schillergras *Koeleria macrantha* und verschiedenen, im Spätsommer blühenden Enzian- (*Gentianella*-) Arten.

b) Kontinentale Steppenrasen

ebenfalls beweidet und vor allem auf den Schotterplatten der Münchner Schotterebene (NSG Garching Heide) und südlich von Augsburg (Kissinger Heide) anzutreffen, mit vielen pontisch-südsibirischen Arten wie dem Frühlings-Adonisröschen *Adonis vernalis* und der Finger-Küchenschelle (*Pulsatilla patens*).

c) Frühlingsenzian-Trespenwiese

als präalpider Typ des Kalkmagerrasens, traditionell (heute durch Pflege von ortsansässigen Landwirten gewährleistet) einmal pro Jahr Ende/Anfang August gemäht, auf spätpleistozänen Sedimenten mit glazialen Frostmustererscheinungen („Buckelwiesen“); wegen des Reliefs mit über 50 Blütenpflanzen pro m² außerordentlich artenreich. Zahlreiche alpine

und submediterrane Arten; sie sind auch Bestandteil der Feldschicht von Schneeheide-Kiefernwäldern.

Literatur

- Bohn, U., Neuhäusl, R., Gollup, G., Hettwer, C., Neuhäuslova, Z., Raus, T., Schlüter, H. & Weber, H. (Hrsg.), 2003: Karte der natürlichen Vegetation Europas. Maßstab 1 : 2.500.000. Teil 1 Erläuterungstext mit CD-ROM, 655 S. Teil 2 Legende. Teil 3 Karten. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Ellenberg, H. & Leuschner, C., 2010: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 6., vollständig neu bearbeitete und stark erweiterte Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1333 S.
- Ewald, J. 1997: Die Bergmischwälder der Bayerischen Alpen - Soziologie, Standortbindung und Verbreitung. Berlin (Dissertationes botanicae, 290).
- Hölzel, N., 1996: Zur floristischen Struktur, Ökologie und Dynamik alpischer Karbonat-Trockenkiefernwälder der Klasse *Erico-Pinetea*. Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft 8, 79–98.
- Joosten, H. & Clarke, D., 2002: Wise Use of Mires and Peatlands - Background and Principles including a Framework for Decision-Making. International Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijärvi, Finland, 304 pp.
- Körner, C., 2003: Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. 2nd Edition. Springer-Verlag, Berlin, 344 pp.
- Körner, C., 2012: Alpine Treelines. Functional Ecology of Global High Elevation Tree Limits. Springer-Verlag, Basel, 220 pp.
- Mucina, L., Grabherr, G., Ellmauer, T. & Wallnöfer, S., 1993: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil I–III. G. Fischer Verlag, Jena.
- Pfadenhauer, J.S. & Klötzli, F.A., 2014: Vegetation der Erde. Grundlagen, Ökologie, Verbreitung. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 643 S.
- Pott, R., 1995: Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 622 S.
- Seibert, P., 1968: Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern 1 : 500 000 mit Erläuterungen. Schriftenreihe f. Vegetationskunde 3, 84 S.
- Walentowski, H., 1998: Die Weißtannen-Waldgesellschaften Bayerns. Dissertationes Botanicae 291, 473 S.
- Walentowski, H., Ewald, J., Fischer, A., Kölling, C. & Türk, W., 2013: Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. 3. Auflage. Geobotanica Verlag, Freising, 441 S.
- Wilson, J.B., Peet, R.K., Dengler, J. & Pärtel, M., 2012: Plant species richness: the world records. Journal of Vegetation Science 23, 796–802.

Tabelle 1: Naturräumliche Gliederung des Exkursionsraumes mit seinen typischen Vegetationsformen

Naturraum	Lage	Exkursionsziele	Exkursionsnummer	Vegetation
Kalkhochalpen	Bis knapp 3.000 m NN reichendes Hochgebirge, vorwiegend aus Karbonatgesteinen, klimatisch Übergang zu den Zentralalpen	Wettersteingebirge, Berchtesgadener Alpen, Arnspitze (Karwendel)	A-02 B-03 D-02	Alpenheckenkirschen-Tannen-Buchenwald bis 1.600 m NN, darüber oreoborealer Karbonat-Fichtenwald bis ca. 1.800 m NN, vereinzelt (Lärchen-) Arvenwald; Waldgrenzökoton mit Fichte und Latsche, alpine Rasen. An steilen, südexponierten Hängen Schneeheide-Kiefernwald.
Kalkvoralpen	bis etwa 2.000 m NN reichendes Gebirge, euhumides, wolkenreiches Gebirge vorwiegend aus Karbonatgesteinen	Ammergauer Alpen, Werdenfelser Land	A-01	Waldmeister-Buchenwald in Talnähe, darüber Alpenheckenkirschen-Tannen-Buchenwald bis ca. 1.600 m NN, darüber Waldgrenz-Ökoton mit Fichte und Latsche; alpine Vegetation nur rudimentär; in den Tälern Wirtschaftsgrünland, stellenweise Enzian-Trespenrasen, an steilen, südexponierten Hängen Schneeheide-Kiefernwald.
Flyschgebiet	niedriges, vorwiegend aus kreidezeitlichen Mergel- und Sandsteinen aufgebautes Gebirge bis 1.300 m			Hainsimsen-Tannen-Buchenwald, auf Sandstein auch Hainsimsen-Fichten-Tannenwald ohne Buche, in schattseitigen Lagen oberhalb etwa 1.100 m NN Peitschenmoos-Fichtenwald.
Voralpines Hügel- und Moorland (würmeiszeitlich)	Würmeiszeitlich geprägter Teil des Alpenvorlands mit Moränen, Gletscherstamm- und Zweigbecken, Seen und Mooren	Moorgebiet bei Mooseurach	C-02 D-01	Waldmeister-(Tannen-)Buchenwald auf Moränen, auf schwach entwässerten Grundwassermooren Kleinseggenriede, Pfeifengraswiesen, Feuchtwiesen; sonst Wirtschaftsgrünland. Selten Kalkmagerasen. Wirtschaftsgrünland.
Altmoräne (risseiszeitlich)	Risseiszeitlich geprägter Saum am Nordrand des Jungmoränen-Landschaft		C-02 D-04 F-02	Hainsimsen-(Tannen-)Buchenwald, häufig mit Fichte aufgeforstet; Ackerland mit Kamillen-Gesellschaft. Wirtschaftsgrünland.
Schotterplatten	würm- und risseiszeitliche Schwemmkegel (Sander) von Inn, Isar und Lech	Münchner Schotterebene	D-04 F-01	Potentiell Waldmeister-Buchenwald-Gebiet, meist Fichtenforste (Waldgürtel um München); im Norden (vermutlich sekundäre) Eichen-Hainbuchenwälder. Reste von kontinentalen Kalkmagerrasen, sonst mit Waldkiefer aufgeforstet. Ackerland vereinzelt noch Relikte der Haftolden-Äcker.

Naturraum	Lage	Exkursions- ziele	Exkursions -nummer	Vegetation
Tertiär- hügelland	schwach zertaltes Hü- gelland mit asymmetri- schen Tälern und brei- ten pleistozänen Tal- mulden, aus Süß- und Meerwassermolasse aufgebaut, stellenweise mit Löss überdeckt	Hallertau und Hopfenanbau, Raum Freising - Kranzberger Forst, Raum Ulm	B-02 C-01 E-02 E-03 F-03 G-01	Großflächiger Waldmeister-Buchenwald auf Löss, häufig in Fichtenforste umgewandelt, auf erodierten Kuppen und Talflanken Hain- simsen-Buchenwald, in Talverebnungen Grundwassermoore (fast vollständig kultiviert) und Wirtschaftsgrünland. Äcker artenarm (Reste der Kamillengesellschaft).
Donau- niederung	Ausräumungsland- schaft der Donau und ihrer rechtsseitigen Nebenflüsse, holozän verfüllt	Raum Ulm		Auf spätpleistozänen Flugsanden Kiefern- forste (oder Spargel-Anbau), potentiell vermutlich Eichen-reiche Hainsimsen- Buchenwälder; sonst ausgedehnte, nahezu vollständig kultivierte Grundwassermoore, gut erhaltene Flussauen.
südlicher Jura	Südlicher Teil des Schichtstufenlandes; aus Malmkalken, gegen die Donau zu stellen- weise mit tertiärem und kreidezeitlichem Material überlagert; epigenetische Täler mit steilen Talflanken.	Nördlinger Ries, Jura bei Kelheim, Raum Ulm	B-01 B-04 D-03 D-05	Auf lehmiger Deckschicht Hainsimsen- Buchenwälder, auf Karbonat Waldmeister- Buchenwälder, an sonnseitigen Talflanken Orchideen-Buchenwälder; stellenweise noch gut erhaltene Kalkmagerrasenkom- plexe. Sonst Wirtschaftsgrünland (Talauen), gelegentlich Feuchtwiesen.
ostbayeri- sches Grundge- birge (Bayeri- scher Wald)	Vorwiegend aus Gneis und Granit aufgebautes Silikatgebirge mit maximaler Höhe von 1.456 m NN (Großer Arber)			Bis etwa 1.100 m NN Hainsimsen-Buchen- wälder, in der montanen Stufe (oberhalb 600–700 m mit Tanne und Fichte; darüber oreoborealer Silikat-Fichtenwald; Moore und azonale Peitschenmoos-Fichtenwälder in kalten Talmulden. Wirtschaftsgrünland, Reste von Extensivwiesen, Borstgrasheiden und Feuchtwiesen.

5. Die Landwirtschaft in Südbayern

Rudolf Rippel ¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Lange Point, 85354 Freising

Die Teilnehmer der in Bayern stattfindenden Exkursionen bewegen in sich den südlich gelegenen Regierungsbezirken Oberbayern, Niederbayern und Schwaben, diese seien hier mit „Südbayern“ bezeichnet“ (Abb. 1).



Abb. 1: Bayern und seine Regierungsbezirke

Soweit nicht anders angegeben ist die Quelle der hier genannten Zahlen die jeweils letztverfügbare amtliche Erhebung des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung.

1. Agrarstruktur

1.1 Zahl der Betriebe

In Bayern gibt es knapp 100.000 landwirtschaftliche Betriebe. Die Zahl nimmt bayernweit laufend ab, seit 1970 um rund 60 % (Abb. 2).

1.2 Betriebsgröße

Mit abnehmender Zahl an Betrieben nahm die Größe der verbleibenden Betriebe entsprechend zu. Dennoch hatten 2010 noch über 1/3

der bayerischen Betriebe weniger als 10 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF), nur 4 % der Betriebe waren größer als 100 ha LF (Abb. 3).

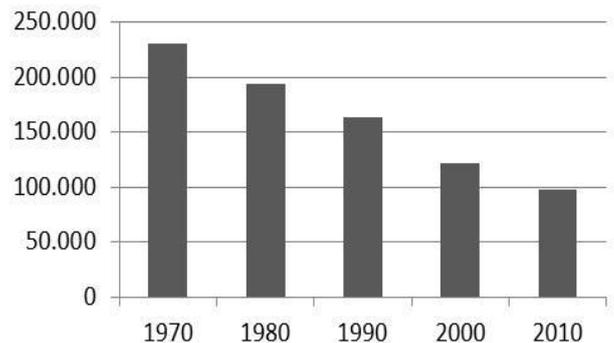


Abb. 2: Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe in Bayern (ab 5 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche), 1970 - 2010

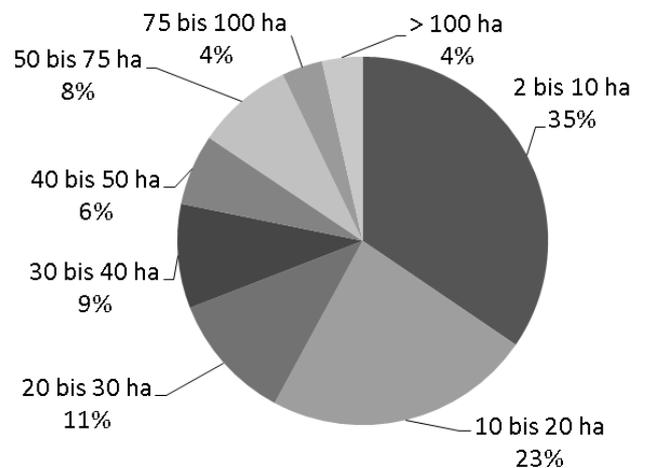


Abb. 3: Betriebsgrößenklassen in Bayern, 2010

Bis zum Jahr 2000 lag die Wachstumsschwelle (die Betriebsgröße, ab der die Zahl der Betriebe innerhalb einer Größenklasse zunimmt) bei der Größenklasse 40-50 ha LF. In der Zeit von 2000 bis 2009 erhöhten sich die Betriebszahlen erst ab der Größenklasse 50-75 ha. Heute hat die Wachstumsschwelle eine Betriebsgröße von 75 ha erreicht (Zenger, 2011). Von dieser Dynamik sind die Betriebe in Nord- und Südbayern gleichermaßen betroffen.

1.3 Schlaggröße

Die Kleinstrukturiertheit der bayerischen Landwirtschaft spiegelt sich auch in der Größe der Schläge (= einheitlich bewirtschaftete Flächen) wider (Abb. 4). Im Durchschnitt sind diese Bewirtschaftungseinheiten in Bayern 1,56 ha groß. Das ist im Vergleich zu der mittleren Schlaggröße anderer, insbesondere der Neuen Bundesländer, relativ klein. Die Situation für die Bewirtschaftung der Flächen ist in Südbayern (mittlere Schlaggröße 1,7 ha) etwas günstiger als in Nordbayern (1,3 ha).

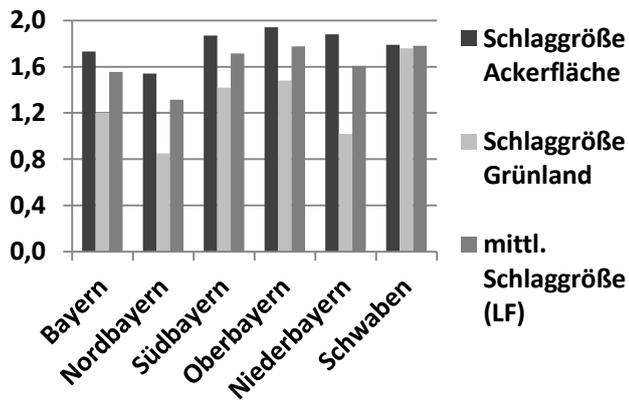


Abb. 4: Schlaggrößen in Bayern, ha (2010)

1.4 Tierhaltung

Die landwirtschaftliche Tierhaltung ist in ganz Bayern im Zusammenhang mit dem Grünland zu sehen, dessen Aufwuchs nur von Wiederkäuern sinnvoll genutzt werden kann. Hauptnutztierarten sind Rinder, Schweine und Schafe, auf die sich die folgende Betrachtung beschränkt. In Südbayern ist der Bestand an Rindern und Schweinen gleich hoch (jeweils 48 %), Schafe machen 4 % der Tiere aus. Bayernweit stellen Schweine die Hälfte und Rinder 45 % der gehaltenen Tiere.

80 % der südbayerischen Betriebe halten Nutztiere (Bayern: 78 %), besonders hoch ist der Anteil in Schwaben mit 85 % (Tab. 1). Viele Betriebe betreiben nicht nur eine einzige Art der Tierhaltung. Am häufigsten ist in Bayern und Südbayern die Rinderhaltung anzutreffen, insbesondere die Milchviehhaltung.

Der Anteil Schweine haltender Betriebe, meist Schweinemastbetriebe, ist in Südbayern (10 %) nur halb so hoch wie in Nordbayern. Insbesondere in dem vom Ackerbau geprägten Niederbayern gibt es relativ viele Schweinehalter (20 % der Betriebe).

Schafe werden in 5-7 % der Betriebe gehalten (Tab. 1).

Tab. 1: Anteil tierhaltender Betriebe in Bayern, jeweils in % aller landwirtschaftl. Betriebe (2010)

Anteil der Betriebe	Bayern	Nordbay.	Südbay.	Oberbay.	Niederbay.	Schwaben
Tierhaltung	78	74	80	80	76	85
Rindern	56	49	61	63	50	69
Milchvieh	43	36	48	50	36	57
Schweinen	18	24	13	10	20	13
Zuchtsauen	6	7	6	4	10	5
Schafen	6	7	6	7	5	6

2. Flächennutzung

Bayern ist 7,1 Mio. ha groß, auf Südbayern entfallen hiervon 3,8 Mio. ha oder 54 %. Knapp die Hälfte Bayerns wird landwirtschaftlich genutzt, 35 % sind Forstfläche, 13 % werden als Siedlungsbereiche ausgewiesen. Den Rest von 4 % teilen sich Wasserflächen sowie Moor, Heide und „Unland“ (Abb. 5).

In Südbayern ist der Anteil landwirtschaftlich genutzter Fläche etwas höher (51 %), der Waldanteil dafür geringer (32 %). Die größeren Moorflächen Bayerns liegen südlich der Donau. Das sog. Unland umfasst im Wesentlichen die Gebirgsflächen der Alpen. In den beiden südlichen Bezirken Oberbayern und Schwaben ist der Flächenanteil an Moor, Heide und Unland deshalb höher als in den anderen Gebieten, über 80 % dieser Flächen Bayerns liegen hier.

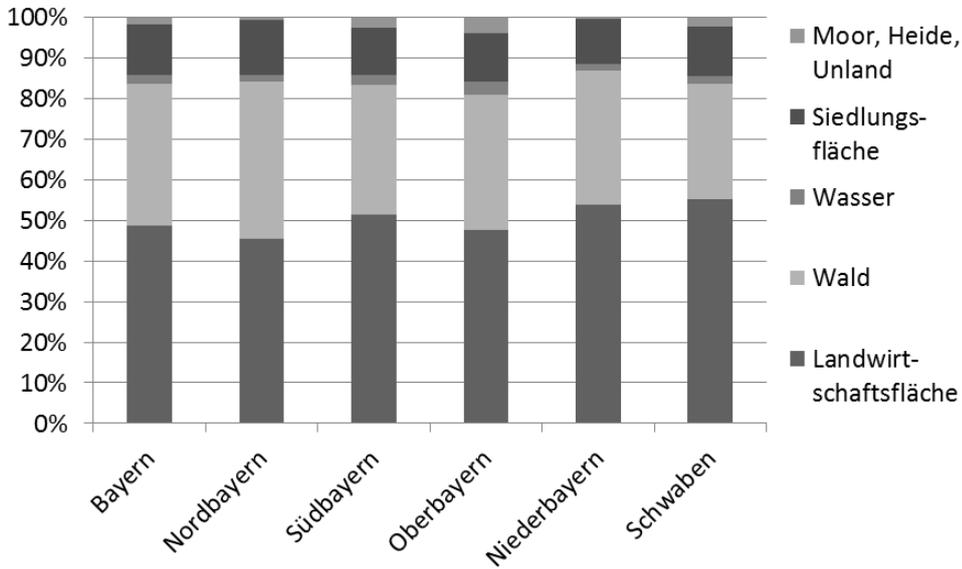


Abb. 5: Hauptnutzung der Fläche Bayerns, % der Gesamtfläche, 2013

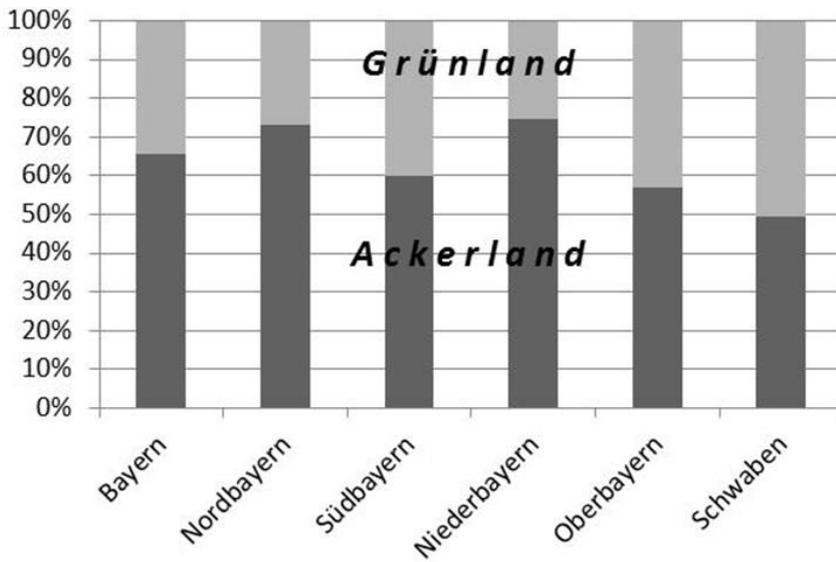


Abb. 6: Acker-/Grünlandanteil an der LF in Bayern und einzelnen Landesteilen (2010)

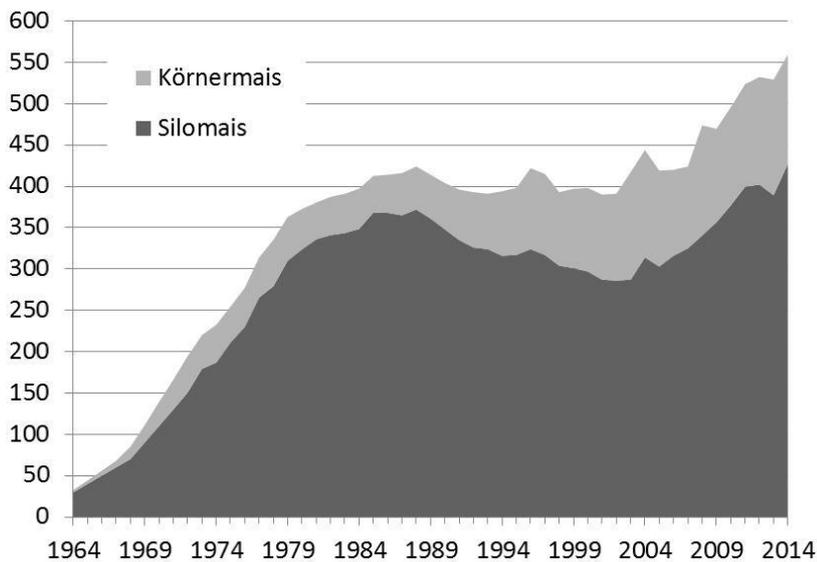


Abb. 7: Anbaufläche Mais in Bayern, 1.000 ha, 1964 – 2014 (Deutsches Maiskomitee, 2014)

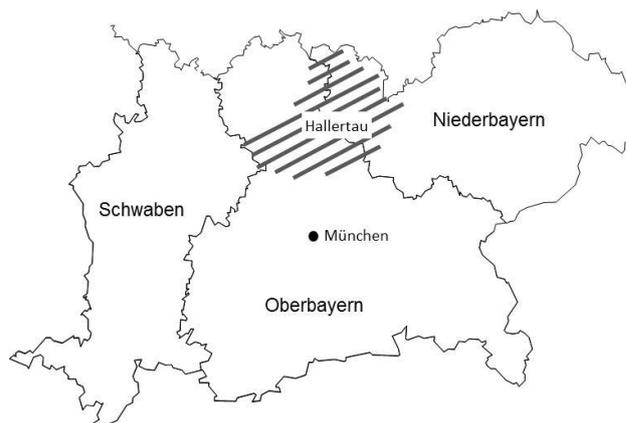
Tab. 2: Anteil einzelner Kulturarten an der AF (% , 2010)

	Getreide	Mais	Zucker- rüben	Öl- früchte	Körner- leguminosen	Kar- toffeln	Sonstige Früchte
Bayern	57,8	24,1	2,9	7,5	0,9	2,1	4,7
Nordbayern	64,4	17,0	2,7	9,6	1,0	1,1	4,2
Südbayern	51,6	30,8	3,1	5,5	0,8	3,1	5,1
Oberbayern	52,3	29,4	1,6	6,4	0,9	3,9	5,5
Niederbayern	49,4	31,2	4,9	4,7	0,8	2,6	6,6
Schwaben	53,8	32,9	2,9	5,2	0,6	2,4	2,3

In Südbayern werden 60 % der landwirtschaftlichen Fläche ackerbaulich genutzt (Bayern: 65 %), der Rest von 40 % ist Grünland (sieht man von einen Anteil von weniger als 1 % Dauerkulturen ab). In Oberbayern und Schwaben ist der Grünlandanteil mit 43 bzw. 51 % besonders hoch (Abb. 6). Dort ist auch eine besondere Grünlandform zu finden, die hoffernen Sommerweideflächen im Gebirge. Diese Almen (Oberbayern) und Alpen (Schwaben) erweitern die Grundfutterbasis der Betriebe im Tal und erfüllen auch wichtige Funktionen für Artenvielfalt, Landschaftsbild und Tourismus. Auf den etwa 25.000 ha der 1.388 Almen und Alpen Bayerns werden jährlich etwa 55.000 Tiere „gesömmert“.

Die Ackerfläche (AF) wird entsprechend der Vielgestalt von Klima, Böden und Relief Bayerns vielfältig genutzt. Die Frucht mit dem größten Flächenanteil in Südbayern ist der Mais, der hier auf 31 % (Bayern 24 %) der AF angebaut wird. Auf 1/4 der AF Südbayerns und Bayerns wird Weizen angebaut (zu 99 % Winterweizen). An dritter Stelle steht Gerste mit 16 % (Bayern 18 %) der AF. In Südbayern ist der Anteil von Flächen mit Reihenfrüchten (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln) mit 37 % deutlich höher als in Nordbayern mit 21 % der AF (Tab. 2). Der Maisanbau hat mit Einsetzen des Biogas-Booms Anfang 2002 wieder deutlich zugenommen (Abb. 7).

Nördlich von Freising befindet sich das größte Hopfenanbaugebiet der Welt, die Hallertau (Abb. 7). Hier wird auf über 14.000 ha eine der wesentlichen Grundlagen für die Bierherstellung gewonnen. Die Produktionsmenge entspricht etwa 85 % der deutschen und über 30 % der Weltproduktion (LfL, Grünes Heft, 2014).

**Abb. 7:** Hopfenanbaugebiet Hallertau

In Niederbayern spielt der Gemüseanbau auf Freilandflächen eine besondere Rolle. Auf etwa 5.400 ha werden dort jährlich 45 % des bayerischen Feldgemüses angebaut, insbesondere Einlegegurken, Speisezwiebeln und Weißkraut. Niederbayern ist das größte Anbaugebiet für Einlegegurken. (AELF Landshut, 2014)

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: GENESIS-online, 04.11.2014: <https://www.statistikdaten.bayern.de/>
- Deutsches Maiskomitee e.V., 13.08.2014: http://www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland/Gesamtflächen_entwicklung
- Zenger, X., 2011: Agrarstrukturentwicklung in Bayern, LfL-Information
- LfL, Grünes Heft 2014, 02.12.2014: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/grünes_heft_2014.pdf
- AELF Landshut, 02.12.2014: <http://www.aelf-la.bayern.de/gartenbau/erzeugung/index.php>

6. Forstliche Bodennutzung in Südbayern

Christian Kölling¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

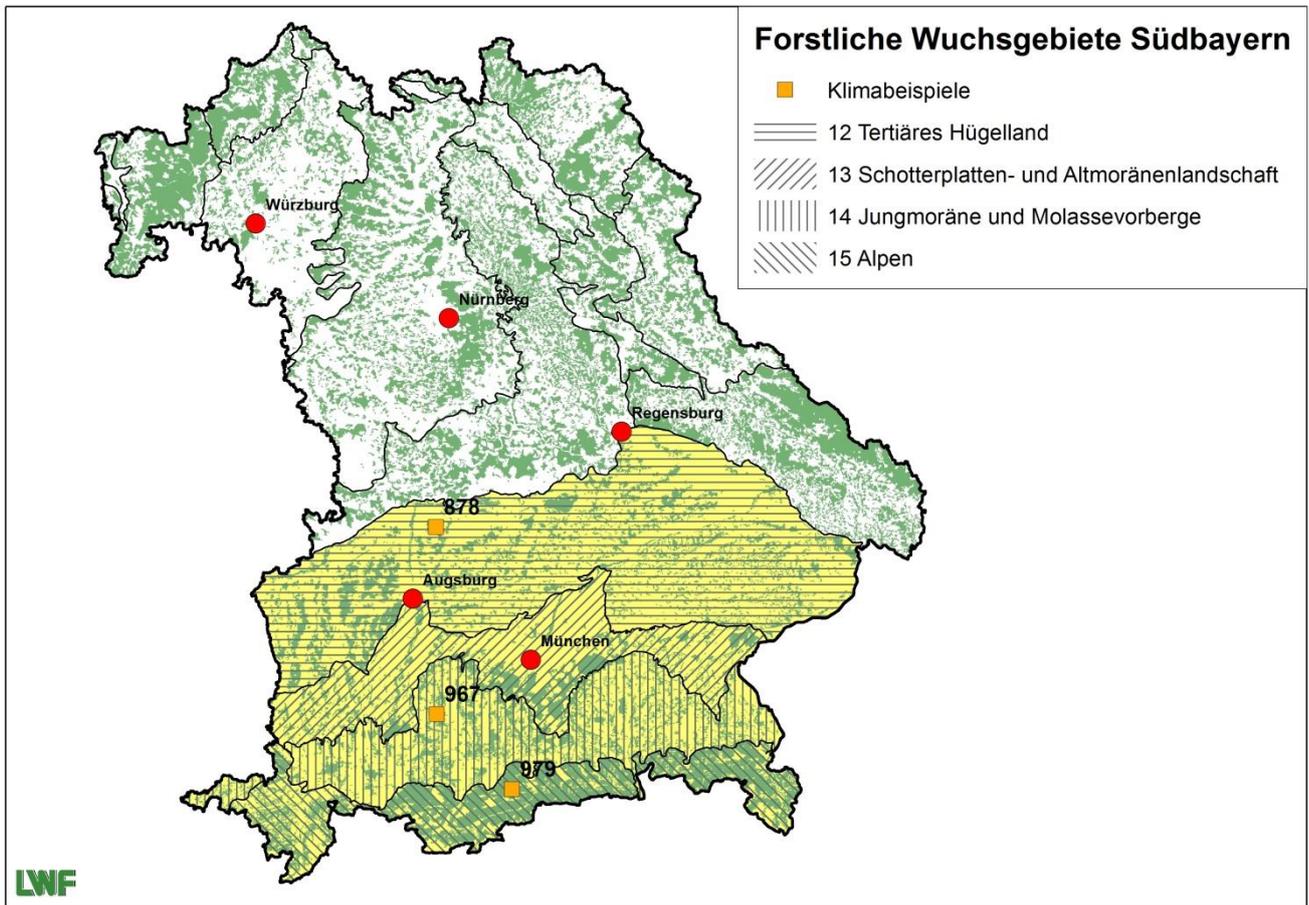


Abbildung 1: Forstliche Wuchsgebietsgliederung Südbayerns (Walentowski et al. 2001)

Die Waldgebiete südlich der Donau nehmen mit fast 900.000 ha über ein Drittel der Waldfläche Bayerns ein (BMELV 2013). In der Forstlichen Regionalgliederung wird der südbayerische Raum mit Hilfe der großen geologischen Einheiten in vier Wuchsgebiete unterteilt (Abbildung 1, Gauer und Aldinger 2005). Die Bayerischen Alpen bilden das Wuchsgebiet 15, die Region der Jungmoränen mit einzelnen durchragenden Molassebergen das Wuchsgebiet 14, die nördlich anschließenden Altmoränenzüge und Schotterplatten das Wuchsgebiet 13. Im tertiären Hügelland (Wuchsgebiet 12) treten die tertiären Sedimen-

te des alpenparallelen Molassetrogs vermehrt an die Oberfläche. Zusätzlich sind hier quartäre Lößdecken weit verbreitet.

Südbayern gehört zu den produktivsten forstlichen Wuchsregionen Europas. Ähnlich günstige Bedingungen finden sich noch in den angrenzenden Regionen Oberösterreichs, Baden-Württembergs und der Schweiz. Der Grund für die im Vorland der Alpen und in deren tieferen Lagen so außerordentlich hohe Waldproduktivität liegt vor allem im Klima begründet. Der in west-östlicher Richtung verlaufende Alpenbogen führt mit seiner ausgeprägten Luvwirkung vor allem im Sommer-

halbjahr zu hohen, bis in das Gebirge hinein zunehmenden Niederschlägen. Obwohl die Niederschlagssummen hoch sind, werden sie außerhalb der eigentlichen Gebirgslagen von verhältnismäßig hohen Sommertemperaturen begleitet. Beide Faktoren, reichliche Sommer-niederschläge und ausreichende Sommer-wärme führen in vielen Fällen zu exzellenten Wachstumsbedingungen für Waldbäume.

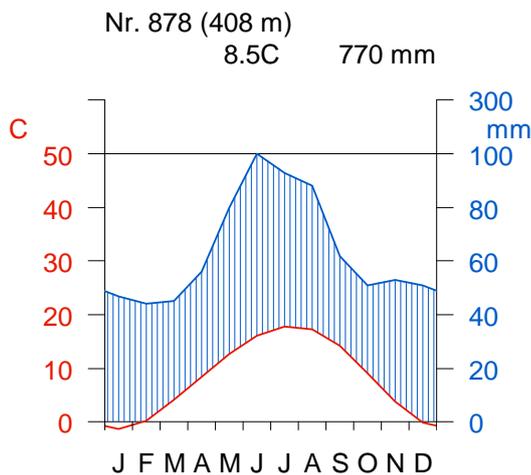


Abbildung 2: Klimadiagramm in der Donau-niederung (Standort 878 in Abbildung 1, Daten aus WorldClim (2014); untere Linie und linke Skala mittlere Temperaturen, obere Linie und rechte Skala mittlere Niederschlagssummen)

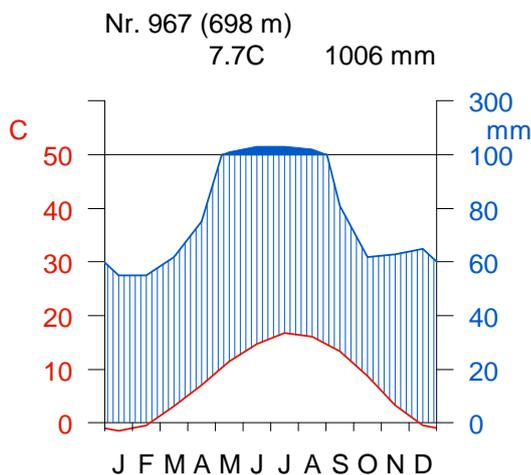


Abbildung 3: Klimadiagramm in der Jungmoräne (Standort 967 in Abbildung 1, Daten aus WorldClim (2014); untere Linie und linke Skala mittlere Temperaturen, obere Linie und rechte Skala mittlere Niederschlagssummen)

Das ganze Gebiet weist einen extremen Nord-

Süd-Gradienten auf. Von der Donau im Norden bis zu den Alpengipfeln im Süden nehmen die Niederschlagssummen zu und die Temperaturen ab (Abbildung 2, Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 5). Im wärmeren Norden wirken sich bei geringeren Niederschlägen vermehrt Trockenperioden aus, in den kühlen Hochlagen des Südens machen sich mit der Höhenlage zunehmend mangelnde Wärme und kurze Produktionsphasen wachstumsmindernd bemerkbar, bis an der alpinen Waldgrenze die Produktion ganz zum Erliegen kommt. Zwischen diesen produktionschwächeren Randzonen im Norden und Süden erstreckt sich im Vorland der Alpen das breite Band der für die Forstwirtschaft hervorragenden klimatischen Produktionsbedingungen.

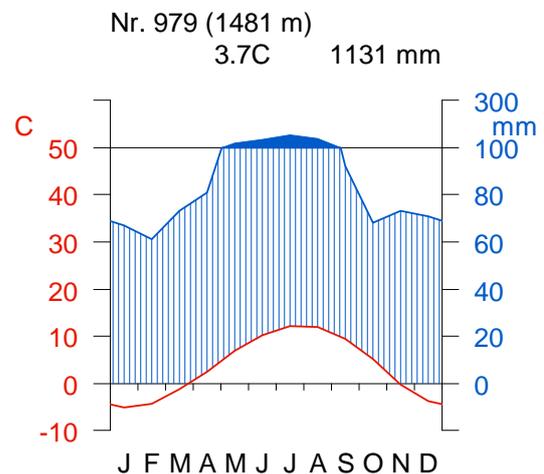


Abbildung 4: Klimadiagramm in den Alpen (Standort 979 in Abbildung 1, Daten aus WorldClim (2014); untere Linie und linke Skala mittlere Temperaturen, obere Linie und rechte Skala mittlere Niederschlagssummen)

Die großräumigen, durch das Klima geprägten Produktionsverhältnisse werden lokal durch die Böden modifiziert. Je günstiger die Niederschlagssituation, desto geringer ist der Einfluss der nutzbaren Feldkapazität und damit des Bodens auf die Wasserversorgung. Bei den sehr flachgründigen Skelettböden aus Felsen oder grobem Kies, wie sie in den Alpen, aber auch in den Schotterplatten, der Moräne und auf jungen Flusssedimenten vorkommen, sind lokal begrenzt schwierigere Wasserhaushalts-

bedingungen und damit auch Produktionsrückgänge zu verzeichnen. In der ganzen Region ist mit gut basenausgestatteten Böden zu rechnen, tiefgründig saure und basenverarmte Standorte sind sehr selten. Problematisch für die Phosphor-, Spurenelement und Kaliumernährung sind die verbreiteten flachgründigen A-C Böden aus Karbonatfels oder -schotter. Hier kann es zu empfindlichen Nährstofflimitierungen des Wachstums kommen.

Die natürlichen Waldgesellschaften sind weit überwiegend Buchenwaldgesellschaften mit der charakteristischen Beimischung der Nadelbäume Fichte und Tanne und des Laubbaums Bergahorn. Die drei Baumarten Fichte, Tanne und Buche bilden den für das Gebiet typischen Bergmischwald. Bergmischwald kann überall dort entstehen, wo die klimatischen Einzelansprüche der drei Baumarten als Schnittmenge zusammentreffen (Kölling u. Ewald 2013). Südbayern weist sehr große potenzielle Flächen dieses produktiven, waldbaulich reizvollen und ästhetisch ansprechenden Waldtyps auf (Abbildung 5). Besonderes Augenmerk verdienen die ungleichaltrigen Plenterwälder, die in ihrer klassischen Ausbildung immer im Bergmischwald liegen und die über die Generationen hinweg die waldbauliche Diskussion bis heute prägen. In vielerlei Hinsicht dient der Bergmischwald als forstliches Idealbild, als Ikone des Mischungsprinzips. Die Produktivität der Fichte wird ergänzt durch die ökologischen Vorteile der Buche und gesteigert durch die Stabilität der Tanne. Allerdings muss betont werden, dass die Existenz von Bergmischwald immer an besondere Bedingungen geknüpft ist und unter anderen Rahmenbedingungen nicht nachgeahmt werden kann.

Die reale Baumartenzusammensetzung der vier südbayerischen Wuchsgebiete weicht sowohl erheblich von den natürlichen Waldgesellschaften als auch vom Ideal des Bergmischwaldes ab (Tabelle 1). Die Fichte hat heute fast 60% Anteil, die Buche nur 10% und die Tanne ist mit 3% sehr selten geworden. Mit großen waldbaulichen Anstrengungen versucht man überall, den Anteil gemischter Bestände

zuungunsten der Fichtenreinbestände zu erhöhen.

Tabelle 1: Baumartenanteile in den Wuchsgebieten 12, 13, 14 und 15 (BMELV 2013)

Baumart	Fichte	Tanne	Buche
Anteil	57,1%	3,1%	9,6%

Eine Abkehr vom Fichtenreinbestand ist auch durch die Veränderungen des Klimawandels dringend geboten. Durch eine Temperaturerhöhung werden sich die derzeit häufig noch optimalen Anbaubedingungen für die Fichte vor allem in den wärmeren Gebieten zur Donau hin zunehmend verschlechtern. Der Bergmischwald hat eine besondere Bedeutung für Forstwirtschaft, Naturschutz und Landeskultur. Durch den Klimawandel wird es in diesem Vegetationstyp zu Entmischungen kommen. Die gegenüber einer Temperaturerhöhung anfälligeren Fichten werden zu Gunsten der weniger anfälligen Buchen und Tannen an Bedeutung verlieren. Dadurch wird sich die Flächenverbreitung des Bergmischwalds verringern, sein Verbreitungsgebiet wird sich in höhere Lagen verschieben, gleichzeitig wird sich die Fläche verringern. Mit einem aktiven klimagerechten Waldumbau reichert man gefährdete reine oder wenig gemischte Fichtenbestände mit den zukunftsfähigen Baumarten Buche und Tanne an. Über Mischung, Risikostreuung und Anpassung wird auf diese Weise der Wald stabilisiert und auf die Zukunft vorbereitet. Durch klimagerechten Waldumbau hin zu anderen Baumarten fördert die Bayerische Forstverwaltung die Anpassung der Wälder an den Klimawandel. Dabei verwendet man moderne Informationssysteme (Falk et al. 2013), die es ermöglichen, Anbau Risiken und Ertragssituation unter den veränderten Bedingungen des Klimawandels neu zu beurteilen.

Literatur

BMELV Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2013): Bundeswaldinventur. Alle Ergebnisse und Berichte. www.bundeswaldinventur.de (aufgerufen am

13.06.2013).

Falk, W., Mellert, K., Bachmann-Gigl, U., Kölling, C. (2013): Bäume für die Zukunft: Baumartenwahl auf wissenschaftlicher Grundlage. Anbaurisikokarten jetzt um Boden- und Reliefparameter ergänzt. LWF-aktuell 94, 8 – 11.

Gauer, J., Aldinger, E. (Hrsg.) (2005) Waldökologische Naturräume Deutschlands : forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke ; mit Karte 1:1.000.000. Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortkunde und Forstpflanzenzüchtung 43, 1 - 324

Kölling, C., Ewald, J. (2013) Bergmischwälder im

Klimawandel: Ausgangslage, Gefährdung, Anpassungsmaßnahmen. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt 78, 45 - 56

Reger, B. & Ewald, J. (2011): Waldtypenkarte Bayerische Alpen. Eine neue Planungshilfe für die Forstpraxis. AFZ-Der Wald 24/2011: 14-16.

Walentowski, H., Gulder, H.-J., Kölling, C., Ewald, J. & Türk, W. (2001): Regionale natürliche Waldzusammensetzung Bayerns. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.

WorldClim (2014): Global Climatic Data. www.worldclim.org

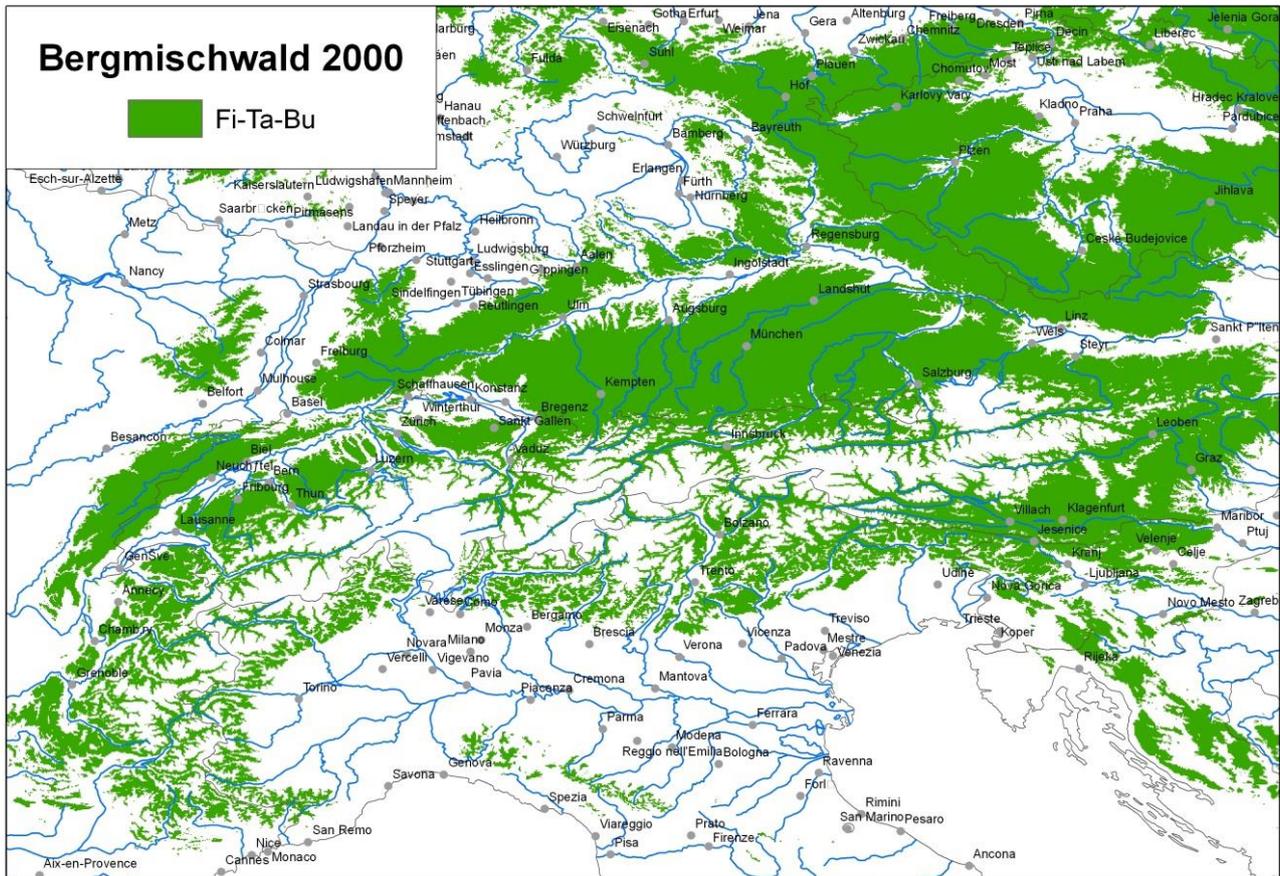


Abbildung 5: Potenzielles Gebiet des Bergmischwaldes (Fichte-Tanne-Buche) im südlichen Mitteleuropa unter gegenwärtigen Klimabedingungen (aus Kölling und Ewald, 2013)

7. Hydrologie in Südbayern

Lothar Zimmermann¹⁾

¹ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Im langjährigen Mittel fällt in Bayern 939 mm/a Niederschlag, davon verdunsten vom Boden und von bzw. durch Pflanzen 517 mm/a. Zum Abfluss zum Meer über Grundwasser, sowie über Quellen, Bäche und Flüsse gelangen 422 mm. Etwas mehr als die Hälfte davon tragen zur Grundwasserneubildung bei, während 205 mm/a direkt oberirdisch abfließen (Tabelle 1). Südlich der Donau ist Bayern mit durchschnittlich 1030 mm/a sehr niederschlags- und damit wasserreich. In den Alpen steigt die Niederschlagssumme auf über 2000 mm/a an. In Nordbayern fällt dagegen in vielen Regionen nur Niederschlag um 650 mm/a. Deutlich wird dies abgeschwächt auch im Exkursionsgebiet (Abb.1) im Vergleich der Abflusshöhe nördlich und südlich der Donau (Abb. 2). Bei der Grundwasserneubildung zeigen sich die Unterschiede aufgrund der ungünstigeren geologischen Verhältnisse noch mehr, während es in Würzburg im Jahr nur 125 mm/a sind, sind es unter München immerhin 315 mm/a (Abb. 3).

Tabelle 1: Langjährige Wasserbilanz Bayern (Daten LfU Bayern)

Nieder- schlag	Verduns- tung	Abfluss	
		Grundwasser- abfluss	Oberirdischer Abfluss
939	517	217	422
			205

Zu einem Ausgleich der wasserärmeren Gebiete Nordbayerns mit den wasserreicheren Gebieten Südbayerns gab es seit Anfang der 70er Jahre das Wasserbauprojekt *Überleitung von Altmühl- und Donauwasser in das Regnitz-Main-Gebiet*. Regnitz und Main brauchen zur Erhöhung ihrer Abflüsse in Trockenzeiten rd. 150 Mio. m³/a zusätzliches Wasser. Diese Wassermenge wird auf zwei verschiedenen Wegen vom Donau- ins Maingebiet geleitet.

Zum einen über den Main-Donau-Kanal (125 Mio. m³/a). Dabei wird das Wasser aus Donau und Altmühl bis zur Wasserscheide hochgepumpt, im Rothsee zwischengespeichert und von dort bei Bedarf in das Maingebiet abgegeben. Zum anderen wird das Hochwasser der Altmühl im Altmühlsee bei Gunzenhausen aufgefangen, in das benachbarte Brombachtal geleitet, im Brombachsee-Talsperre gespeichert und bei Bedarf abgegeben. Die beiden Seen sind über den Altmühlüberleiter verbunden, der die Wasserscheiden zwischen Donau und Main als Stollen unterirdisch quert. Der planmäßige Betrieb wurde im Jahr 2000 aufgenommen. Nordbayern mangelt es im Vergleich zu Südbayern nicht nur an oberirdischem Wasser, sondern auch an Grundwasser. Daher werden im Zweckverband *Wasserversorgung Fränkischer Wirtschaftsraum* rund 22 Mio. m³/a Grundwasser aus dem Mündungsgebiet des Lech in die Industrie-region Mittelfranken geleitet um das Wasserangebot auch im Großraum Nürnberg zu verbessern.

Hauptfluss im Exkursionsgebiet ist die Donau (Abb. 1), die südlich von Passau nach Österreich übertritt. Ihre größeren Nebenflüsse sind (von Westen):

- Iller, Lech, Isar, Inn (Merkpruch: ... fließen rechts zur Donau hin)
- Würnitz, Altmühl, Naab und Regen (Merkpruch: ... kommen ihr von links entgegen)

Die vier ersteren entspringen in den Alpen und sind deutlich wasserreicher. Der Inn führt (wegen des langen Oberlaufs) bei seiner Mündung in Passau meist etwas mehr Wasser (rund 7%) als die Donau. Durch den Gletschereinfluss auf den Abfluss führt der Inn aber die meiste Zeit des Jahres (vom Frühherbst bis zum Frühling) weniger Wasser. Durch die Beibehaltung der Fließrichtung sowie die längere

Fließstrecke der Donau (547 km gegenüber dem Inn mit 517 km) ist es jedoch zu rechtefertigen, dass weiterhin von der Donau gespro-

chen wird und nicht von einer Mündung der Donau in den Inn. Auch der Lech übertrifft zeitweise die Donau (Tabelle 2).

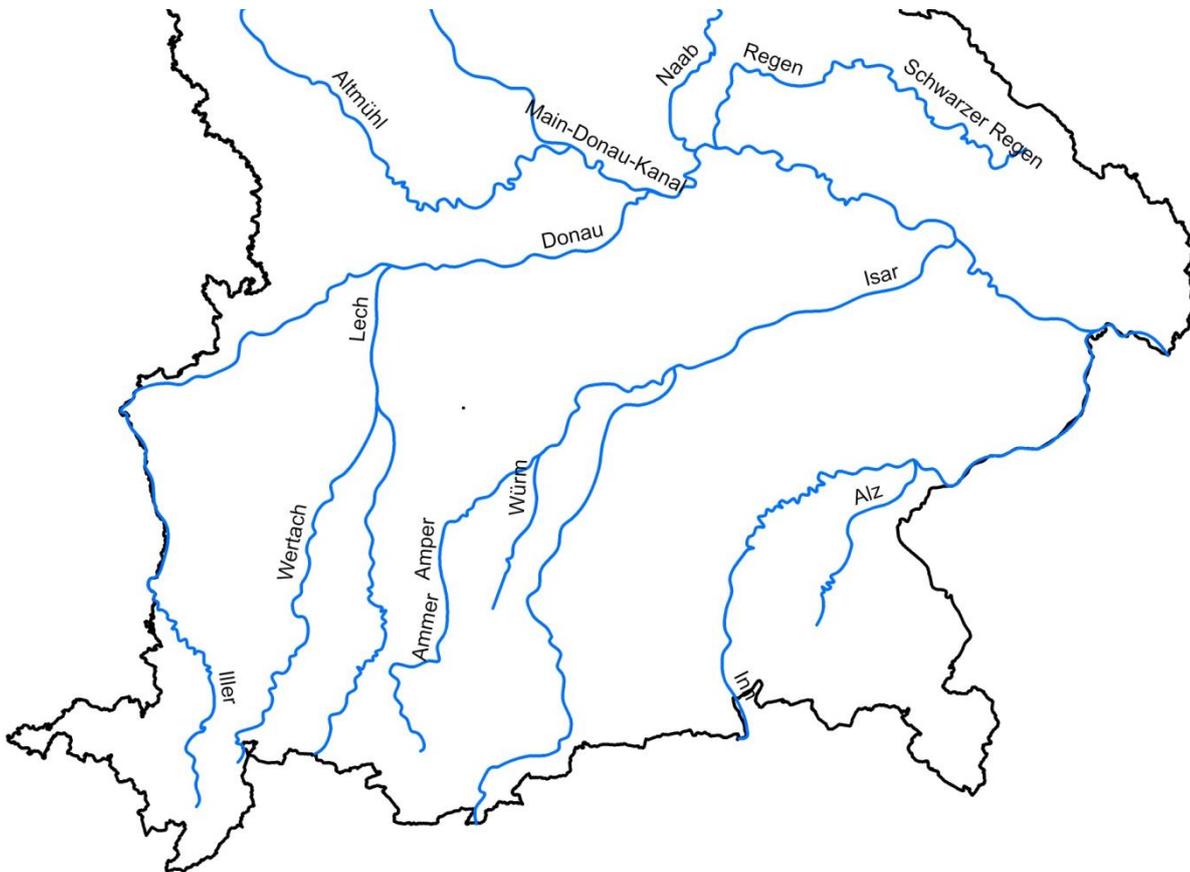


Abbildung 1: Vereinfachtes Gewässernetz Südbayern.

In den Alpen steht durch die hohen Niederschlägen sowie den jahreszeitlichen hohen Rückhalt durch Eis- und Schneedecken viel Wasser zur Verfügung, das durch die Alpenflüsse ins Vorland zur Donau exportiert wird. Die alpinen Zuflüsse zur Donau zeigen ein nivo-pluviales Regime, d.h. der Einfluss der alpinen Schneeschmelze macht sich durch den höheren Abfluss im Frühjahr deutlich, wie stark abhängig davon, wie viel Niederschlag im Winter als Schnee gefallen ist und in einer Schneedecke gespeichert wurde. Auftretende Sekundärmaxima im Sommer oder Herbst sind dagegen eher mit höheren Niederschlägen in Verbindung zu bringen. Glazialer Einfluss, der einen größeren Anteil an Gletscherfläche im Einzugsgebiet voraussetzt, zeigt sich nur in den nichtbayerischen Oberliegergebieten des Inns direkt und deutlich. Er tritt im weiteren Verlauf hinter den anderen Faktoren zurück

(Weber et al. 2007). Bei den linksseitigen Zuflüssen zur Donau zeigt sich entweder eher ein pluviales Regime oder bei höheren Mittelgebirgsanteilen (bspw. bei Naab aus dem Oberpfälzer Wald und beim Regen im Bayerischen Wald) ebenfalls ein nivo-pluviales Regime. Das Abflussregime des Inns ist aufgrund der alpinen Schneeschmelze und der größeren mittleren Hangneigung in seinem Einzugsgebiet unausgeglichener als das der Donau.

Die Zuflüsse aus den Alpen sind teilweise stark reguliert. Sowohl am Lech sowie am Inn gibt es eine Kette von Stauhaltungen, die zur Elektrizitätsgewinnung genutzt werden, aber auch zu Hochwasserschutz genutzt werden. Am Lech betreiben mehrere Versorger insgesamt 30 Kraftwerke und 24 Stauseen (Laufwasser- und Speicherkraftwerke) mit einer elektrischen Nettoleistung von 335 MW (1998). Der größte

Stausee von allen Stauseen am Lech ist der Forggensee, der maximal 168 Mio. m³ Wasser zwischenspeichern kann. Am Inn gibt es vom Oberlauf in der Schweiz und Österreich 24 Kraftwerke zur Elektrizitätserzeugung. Besonders für den Hochwasserschutz von München wurde im Oberlauf der Isar in den Alpen der

Sylvensteinspeicher (Speichervolumen: 124,3 Mio. m³) Anfang der 1950er Jahre angelegt, dessen Damm zwischen 1994 und 2001 noch mal um 3 m erhöht wurde. Im Sommer dient der Speicher zur Niedrigwassererhöhung in der Isar.

Tabelle 2: Gewässerkundliche Hauptzahlen ausgewählter Pegel im Donaugebiet (Deutsches Gewässerkundl. Jahrbuch Donaugebiet 2006, Bay. LfU 2007)

Pegel	Gebiet	Meßreihe	NQ	MNQ	MQ	MHQ	HQ	MHQ/MNQ
Berg (BW)	Donau	1930-2006	4,6	15,9	48,4	194	436	12,2
Neu-Ulm/Bad Held	Donau + Iller	1954-2006	22,0	45,0	125	589	1020	13,1
Kelheim	Donau, Iller, Lech	1924-2006	85,2	144	332	1170	2140	8,1
Schwabelweis	Donau, Iller, Lech, Naab	1924-2006	91,9	190	446	1520	2530	8,0
Hofkirchen	Donau, Iller, Lech, Naab, Isar	1901-2006	165	301	640	1870	3320	6,2
Achleiten	Donau, Iller, Lech, Naab, Isar, Inn	1901-2006	349	615	1430	4120	9100	6,7
Wiblingen	Iller	1921-2006	10,9	21,3	70,1	465	922	21,8
Harburg	Wörnitz	1940-2006	0,5	2,02	11,4	148	444	73,4
Passau-Ingling	Inn	1921-2006	195	283	740	2960	6700	10,5

Hydrogeographisch sind natürlich noch die großen oberbayerischen Seen (Ammersee, Starnberger See, Chiemsee) zu erwähnen. Diese, zusammen mit dem Bodensee, größten und tiefsten Seen Deutschlands säumen den nördlichen Alpenrand im Bereich der alpinen Vorlandvergletscherung (BMU 2003).

In Bayern wird der überwiegende Teil des Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen. Über ca. 10.000 Brunnen und Quellen wird mehr als 900 Mio. m³/a Wasser gewonnen. Über 3.500 dieser Brunnen und Quellen befindet sich im Wald (Trinkwasserschutz-Zone I). Etwa 50 % der Wasserschutzgebietsfläche ist bewaldet. Damit liegen rd. 151.000 ha Wald oder 6 % der Waldfläche in Wasserschutzgebieten (StMELF 2007).

Der nachhaltigen Bewirtschaftung des Grundwassers, besonders vor dem Hintergrund des Klimawandels, kommt besondere Bedeutung zu (Neumann & Wendel 2013). Grob gliedert sich das Exkursionsgebiet in folgende naturräumlich-hydrogeologische Regionen (Richts & Vierhuff 2002): im Bereich der Fränkischen Alb befinden wir uns im Mittelgebirge, vorwiegend

aufgebaut aus schwach diagenetisch veränderten Festgesteinen, mit Karstgrundwasserleitern, mit verbreitet starker Grundwasserführung in Klüften und in Karsthohlräumen, wobei ergiebige Bereiche (15-40 l/s) mit weniger ergiebigen (5-15 l/s) abwechseln (Müller et al. 2002). Im ostbayerischen Kristallin haben wir dagegen ein Mittelgebirge mit stark diagenetisch veränderten und kristallinen Festgesteinen vor uns. Diese paläozoischen, mehr oder weniger geklüfteten Gesteine stellen Kluffgrundwasserleiter mit geringer, örtlich größerer Grundwasserführung dar. Die Ergiebigkeit ist meist sehr gering (< 2 l/s). Lokal begrenzte Grundwasservorkommen gibt es in Talfüllungen. Für die Verbesserung der Trinkwasserversorgung von Gemeinden im Bayerischen Wald mit den geringmächtigen, oberflächennahen Grundwasservorkommen sowie weiteren Gebieten in Niederbayern wurde 1983 die Trinkwassertalsperre Frauenau (Speicherraum 20,8 Mio. m³) fertiggestellt. Über den Zweckverband *Fernwasserversorgung Bayerischer Wald* werden dabei bis zu 15 Mio. m³/a Trinkwasser zur Verfügung gestellt.

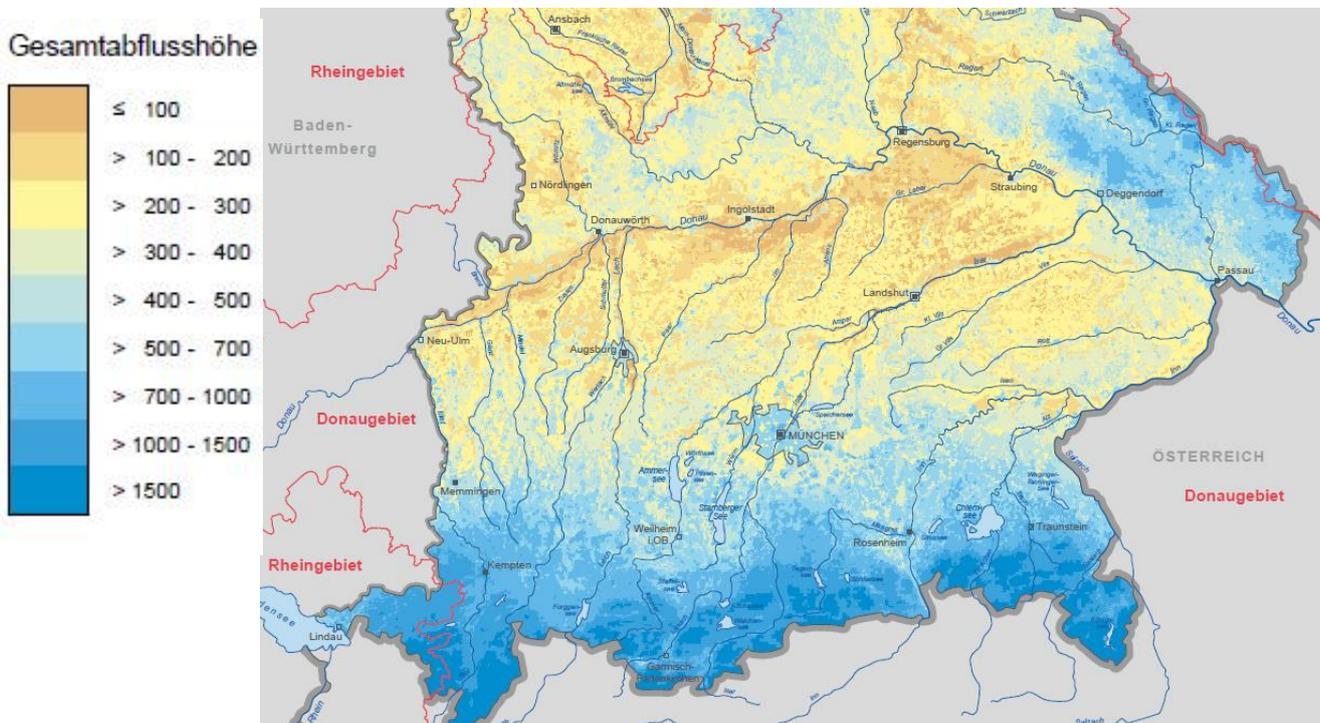


Abbildung 2: Abflusshöhe 1971-2000 in mm/a, Ausschnitt für Südbayern (aus Bay. LfU 2011).

Entlang der Donau und besonders ihrer südlichen Zuflüsse finden sich auch größere Talfüllungen, die sehr ergiebige Grundwasservorkommen darstellen. Ferner stellt der Bereich der fluvioglazialen Schotter wie in der Münchner Schotterebene ergiebige Grundwasservorkommen dar. Auch das Tertiärhügelland und die Iller-Lech-Platten stellen Lockergesteinsregionen dar, mit teils ergiebigen, aber auch weniger ergiebigen Porengrundwasserleitern. Im nach Süden anschließenden Moränenland geht die Ergiebigkeit meist stark zurück. Hier herrschen Grundwassergeringleiter vor, mit örtlich stark wechselnden Leitfähigkeiten. In Talfüllungen gibt es aber örtlich sehr ergiebige Porengrundwasserleiter. In den Nordalpen finden sich zusammenhängende Grundwasservorkommen nur in den Talfüllungen. Das Grundwasser, das sich in den alpin gefalteten Schichten oder Decken der Gebirgszüge (Regionen der Kalkmergelsteine oder der Kalksandsteine) bildet, lässt sich kaum in Bohrungen fassen, sondern tritt in zahlreichen schicht- oder kluftgebundenen Quellen zu tage.

Die großen Grundwasserspeicher im Alpenvorraum (fluvioglaziale Schotterdecken) spiegeln sich auch in der niedrigen Durchflussvariabilität der Donau wider (Verhältnis MHQ/MNQ) (Tab. 2). Der Oberlauf der Donau sowie ihre nördli-

chen Zuflüsse haben Mittelgebirgscharakter mit relativ hohen Durchflussvariabilitäten, während die südlichen Zuflüsse aus dem Alpenvorland einen zunehmenden Ausgleich des Durchflusses zeigen.

Die Grundwasserneubildung ist wasserwirtschaftlich von großer Bedeutung und ein wichtiges Maß für die „natürliche Regenerationsfähigkeit“ der Grundwasserressourcen und wurde im Projekt KLIWA auf Grundlage der mit dem Modell GWN-BW simulierten Sickerwasserrate (bzw. des Gesamtabflusses) als Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag abgeschätzt. Dabei diente der regionalisierte Baseflow-Index (BFI) zur Berücksichtigung der schnellen lateralen Abflusskomponenten (Blomenhofer et al. 2012). Die betrachtete Grundwasserneubildung ist damit nicht gleichbedeutend mit dem regional verfügbaren Grundwasserdargebot, das zusätzlich von weiteren Faktoren, wie z.B. der Ergiebigkeit des Grundwasservorkommens, beeinflusst wird. Die räumliche Differenzierung zeigt deutlich den Einfluss der regionalen klimatischen Verhältnisse, insbesondere der Niederschlagsverteilung. So zeichnen sich z.B. das niederschlagsreiche Voralpenland und die höheren Lagen des Mittelgebirges Bayerischer Wald durch hohe Grundwasserneubildungsraten von

über 250-300 mm/a aus (Abb. 2). Dem stehen im Untersuchungsgebiet im Nordwesten sowie direkt südlich entlang der Donau, Regionen gegenüber, die nur geringere Grundwasserneubildungsraten besitzen. Regional sind damit für die Grundwasserneubildung relevante Effekte von Boden, Landnutzung, Relief und den hydrogeologischen Gegebenheiten er-

kennbar. Als anschauliches Beispiel sei auf die Fränkische Alb mit Werten von 200-300 mm/a hingewiesen. Dieser Bereich hebt sich trotz ähnlicher Niederschläge deutlich vom Albvorland mit seiner sehr geringen Grundwasserneubildung ab (Blomenhofer et al. 2012).

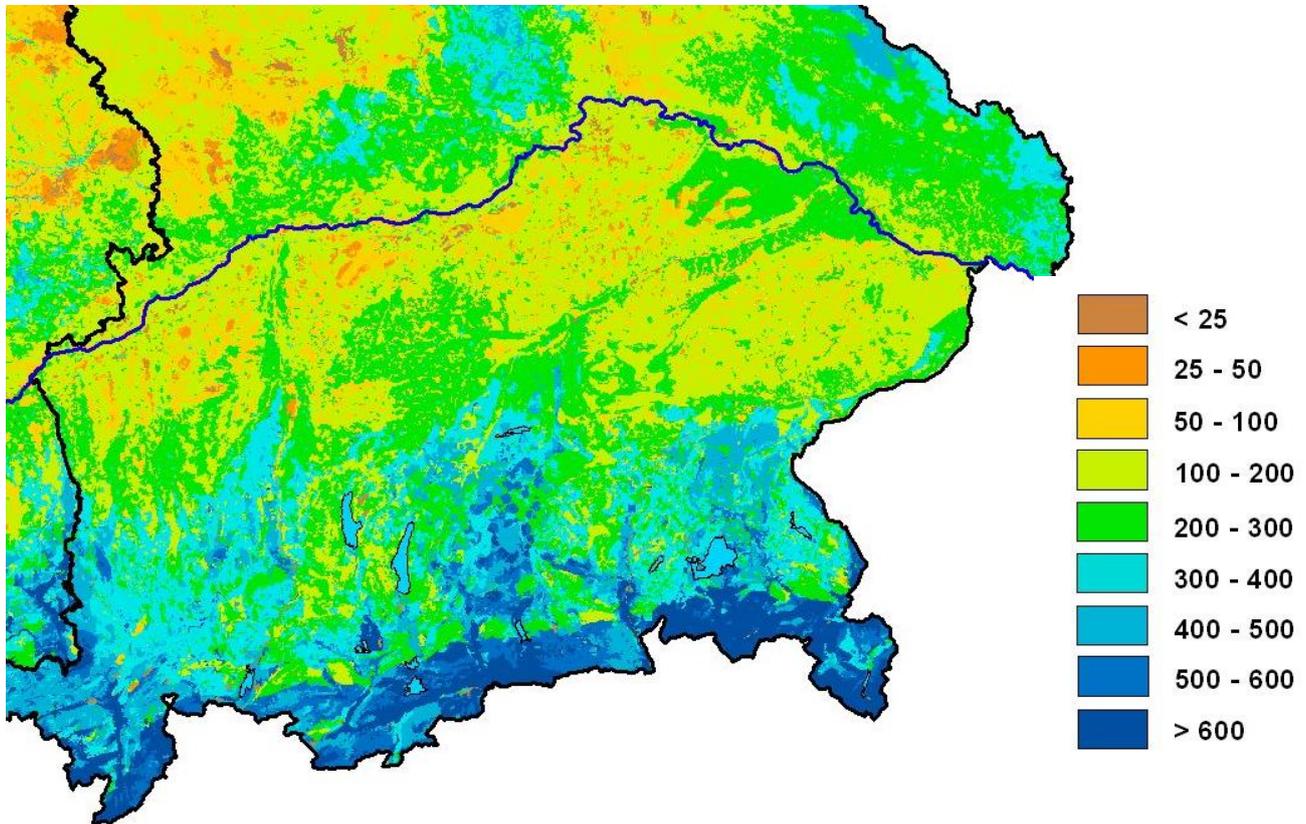


Abbildung 3: Grundwasserneubildung 1971-2000 in mm/a, Ausschnitt für Südbayern (aus Blomenhofer 2012).

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011): Mittlerer jährlicher Gesamtabfluss in Bayern, Periode 1971-2000. Karten zur Wasserwirtschaft. 1: 1 250 000.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2007): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Donauegebiet 2006. 307 S.
- Blomenhofer, A., Gudera, T., Neumann, J., Schwebler, J., Sprenger, W., Wingerling, M. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. AK KLIWA (Hrsg.): KLIWA-Berichte 17, 112 S.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), Bonn/Berlin.
- Müller, A., Philipp, U., Vierhuff, H. (2002): Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen. BMU (Hrsg.): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 2.Lf., Tafel 5.2., Bonn/Berlin.
- Neumann J., Wendel, S. (2013): Grundwasser – Veränderungen und fachliche Schlussfolgerungen. AK KLIWA (Hrsg.): KLIWA-Berichte 19, 120-129.
- Richts, A., Vierhuff, H. (2002): Hydrogeologische Regionen. BMU (Hrsg.): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 2.Lf., Tafel 5.1., Bonn/Berlin.
- StMELF (Bay. Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (Hrsg.) (2007): Bedeutung des Waldes und der Forstwirtschaft für den Trinkwasserschutz und vorbeugenden Hochwasserschutz. Bericht, 31 S.. Beschluss des Bayerischen Landtags vom 10.05.2007, Drs. 15/8154.
- Weber, M., Braun, L., Mauser, W., Prasz, M. (2009): Die Bedeutung der Gletscherschmelze für den Abfluss der Donau gegenwärtig und in der Zukunft. In: Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich 86, 1-30.

Sprachliche Besonderheiten des Exkursionsraumes – nicht ganz ernst gemeint

Karl Auerswald¹

¹ Lehrstuhl für Grünlandlehre, TU München, Alte Akademie 12, 85350 Freising

Die bairische¹ Sprache zeichnet sich durch einige Besonderheiten aus, die nicht nur darin bestehen, dass manche Begriffe anders sind, dass es „Semmel“ statt Brötchen heißt, was wohl allgemein bekannt ist. Auch das grammatikalische Geschlecht wird eigentümlich gebraucht. Es heißt „das Teller“, aber „der Kartoffel“ und „der Butter“ (wie auch Französisch *le beurre*, italienisch *il burro*). Es gibt sogar „das Mensch“, aber das sollte man nicht gebrauchen; es ist ein übles Schimpfwort.

Die scheinbar falsche Verwendung des grammatikalischen Geschlechts ist keine mangelnde Bildung oder Nachlässigkeit. Ganz im Gegenteil – da werden feine Unterschiede gemacht. So heißt es „DER Straubinger Gäu“ (oder auch „DER Dungau“) oder „DER Ochsenfurter Gäu“, aber „DAS Allgäu“, weil der Bayer natürlich weiß, dass mit „DER Gäu“ nur Lösslandschaften bezeichnet werden, im Allgäu Löss aber Mangelware ist. Das muss man unterscheiden können. „DAS G'äu“ – also „DAS Geaue“ – bezeichnet dagegen eine Landschaft mit stark positiver klimatischer Wasserbilanz, die durchzogen ist von vielen Aue-ähnlichen Landschaftsteilen mit hydromorph geprägten Böden. Man beachte die enorme bodenkundliche Kenntnis und Sensibilität, die die die Altvorderen bei der Namensgebung walten ließen.

Eine weitere, mit der bairischen Geschichte zusammenhängende Eigentümlichkeit ist, dass es viele von früheren Besitzern stammende Ausdrücke gibt. So geht der Ort Antenfresser (Braunmühl und Lindner 1839) nicht etwa, wie man meinen könnte, auf einen Entenfresser

sondern auf die Römer (*ante forestum*) zurück. Vor allem aus der Zeit französischen Dominanz (durch Napoleon und unter Montgelas) stammen viele Begriffe, wie „das Trottoir“ (der Bürgersteig), die aber häufig verballhornt wurden, weil das die kleinen Nadelstiche sind, die gegenüber den Mächtigen noch möglich sind. So ist aus dem *pot de chambre* (Nachttopf) das „Potschamperl“ geworden, das aber höchstens noch im übertragenen Sinne verwendet wird. Bis heute ist es dagegen nützlich „kamodorat“ zu sein, das sich aus dem französischen *commode* (bequem) und dem bayerischen „dorot“ (taub) zusammensetzt und die praktische Eigenschaft bezeichnet, im rechten Moment weghören zu können, z.B. wenn gerade besprochen wird, wer die Profilgruben auszuheben hat.

Ebenfalls wichtiges Sprachelement ist die doppelte Verneinung, die in dem bodenkundlich fast universell verwendbaren Satz „nix G'wieß woas ma ned“ (nicht Genaues weiß man nicht) zur schönsten Entfaltung kommt. Die doppelte Negation darf keinesfalls mathematisch interpretiert werden (doppelt negativ = positiv), sondern es bleibt doppelt negativ, also sehr negativ. Der Satz heißt daher so viel wie „der Exkursionsleiter kann uns viel erzählen, aber glauben tun wir das nie im Leben“.

Auch die Aussprache ist nicht ganz einfach und hat schon zu Missverständnissen und groben bodenkundlichen Fehlleistungen geführt. So wird der Lehm, der bei Exkursionen gern an den Stiefeln kleben bleibt, „Loam“ ausgesprochen. Allerdings wird der ebenfalls klebrige Leim auch „Loam“ ausgesprochen – ein klassisches Homonym. Daher dokumentieren die seltsamen Namen mancher Münchner Stadtteile, die bodenkundlich und sprachkundlich mangelnde Differenzierung der frühen Kartographen. Der Stadtteil „Berg am Laim“ (Berg am Lehm; um 1450 urkundlich erwähnt als „ad

¹ Im Unterschied zum Herzogtum und späteren Königreich Bayern, das seine Schreibweise mit ‚ay‘ der Griechenlandbegeisterung von König Ludwig I. verdankt, schreibt man in allen Fällen, die die bairische Stammes- und Sprachgeschichte betreffen Baiern mit ‚ai‘ (Gerndt 1978).

Perke auf dem Laim“) bezeichnet im bayrischen Original treffend die Hochterrassenfläche mit (Löss-) Lehmdeckel, während der in den Karten abgedruckte Name ziemlich sinnlos ist. Für den Stadtteil „Laim“ gilt die gleiche Übersetzungshilfe. Jeder Bodenkundler wird nachvollziehen können, warum die Altbayern (Ober- und Niederbayern, Oberpfalz) angesichts solch bodenkundlicher (bodenloser) Unkenntnis auf „Zuagroaste“ (Zugereiste, also Zugezogene) und „Preißn“ (alle nördlich der Donau) nicht gut zu sprechen sind und sie für „Gschaftlhuber“ (Besserwisser) halten, deren Produkte (z.B. Straßenkarten) man halt still erdulden muss.

Die Schreibweise und das gesprochene Wort klaffen im Bairischen also auseinander und so bekommt man zwei völlig unterschiedliche Antworten, wenn man danach fragt, wie jemand heißt oder wie er sich schreibt. Nur wenn man fragt „wie schreibt der sich?“ erfährt man den Familiennamen, während auf die Frage „wie heißt der?“ der traditionelle Hofname oder der Vorname genannt werden. Dieser Unterschied zwischen „heißen“ und „sich schreiben“, der nichts mit einer schriftlichen Niederlegung oder gar mit mangelnder Rechtschreibkenntnis zu tun hat, lässt sich auch auf andere Dinge übertragen. Es lässt sich so zwischen dem lateinischen Artnamen einer Pflanze (der „sich schreibt“) und ihrem umgangssprachlichen Namen (der „heißt“) fein und präzise unterscheiden.

Tabelle: Bestandteile von Ortsnamen mit bodenkundlicher Bedeutung (modifiziert aus <http://www.bairische-sprache.at/Index/Remaraweng%20Boarisch%20-%20Lehren/Ortsnamen.htm>, Gerndt 1978, Braunmühl und Lindner 1839; Abkürzungen: ahd. althochdeutsch, Jhd. Jahrhundert, Lkrs. Landkreis, mhd. mittelhochdeutsch, Ndb. Niederbayern, NÖ Niederösterreich, Obb. Oberbayern, OÖ Oberösterreich, Opf. Oberpfalz, Sbg. Salzburg)

Namensbestandteil	Bedeutung	Beispiel
Ach, -ach	Siedlung an einem Wasserlauf, einer Ache; größerer Bach	Aichach, Moosach, Maisach, Tiroler Ache (Obb.); Viechtach (Ndb.); Erlach (häufiger Ortsname, in Dialektform Irlach)
Anger, -anger	Wiese Von ahd. angar, auch eng(e) "Wiese". Früher i. d. R. eine abgegrenzte Grasfläche im Dorf	Anger (bei Piding, Obb.); Anger (Steiermark / NÖ);
Ast	Hügel	Asten, Hoher Asten (Obb.)

Ausblick: Ganz im Südosten des Exkursionsraumes vermischen sich dann bairische und österreichische Begriffe. Aus dem Mais wird „der Kuckeruz“, aus Kartoffeln „die Erdäpfel“ und aus dem Meerrettich „der Kren“. Wenn man die Grenze nach Österreich passiert, was man dank Schengen nicht mehr so einfach merkt, sollte man sich daher besonders zurück halten, denn nach Ansicht des Österreichischen Bildungsministeriums ist es verwerflich, dort „Deutschländisches Deutsch“ zu sprechen. Hier sei auf das umfängliche Werk „Österreichisches Deutsch als Unterrichts- und Bildungssprache“ (Burka et al., o.J) verwiesen, das an österreichischen Schulen verteilt wurde und das sich sicherlich auch Hochschulen zu Herzen nehmen sollten.

Literatur

- Braunmühl A. von, Lindner K., 1839: Topographisch-statistisches Handbuch für den Regierungsbezirk Oberbayern im Königreiche Bayern. Verlag der königlichen Hof-Buchhandlung, München, 263 S.
- Burka A., de Cillia R., Ebner J., Fink I. E., Gilly D., Moser-Pacher A., Ransmayr J., Schweiger H., Zhao-Heissenberger G. (o.J) Österreichisches Deutsch als Unterrichts- und Bildungssprache. Bundesministerium für Bildung und Frauen, Wien
- Gerndt S., 1978. Unsere bayerische Heimat – ein Kulturführer. Prestel Verlag München.
- Grimm J., Grimm W. 1999: Deutsches Wörterbuch. Deutscher Taschenbuch Verlag, München. 33 Bände

Namensbestandteil	Bedeutung	Beispiel
Bichel, Bichl, -bichel, -bichl. Pichl (der)	Hügel ahd. buhil, puhil, mhd. bühel Nah verwandt mit 'Bügel' und 'Buckel', welches aber von bücken abgeleitet ist, während bühel unmittelbar vom alten biugan stammt.	Hirschenbühl (Opf.); Bierbaum am Kleebühel (NÖ); Bichelalm, Kirchbichl, Kitzbühel (Tirol); Vgl. Pichlsteiner Eintopf
Bühel, -bühel (der)		
Boden	Ebene, Fläche	Gäuboden (Ndb.); Ahornboden (Tirol)
Filze (gesprochen „Fuizn“)	Hochmoor Die Bezeichnung für ein Gewebe von Wolle oder Haaren [mhd. vilz] wird auch auf die noch als Fasern erkennbaren, verfilzten Sphagnumreste angewendet. Die „Elmoserfilz“ bezeichnet daher das Hochmoorgebiet (=Filz) nahe der Ortschaft Elmosen, deren Nutzflächen überwiegend auf dem umliegenden Niedermoor (=Moos); die Bezeichnungen genügen in der Trennschärfe häufig bodenkundlichen Kartieransprüchen	Kendelmühlfilz am Chiemsee, Kollerfilz, Elmoserfilz bei Aibling (Obb.)
Ga-, -ga (Gach)	jäh, steil (z.B. ein steiler Steig resp. Weg) [mhd. gaehe, gaeh] Bairisch Gach [gaach]	Gasteig (München); Gasteig, Braunau am Inn (OÖ); Gasteig, Volderwald (Tirol) Gasteg, Gasteig b. Hallein, Bad Gastein (Sbg.); Gazeile b. Schrems, Gmünd (NÖ)
Gries, -gries, -grieß	Gries, Kies, Ufersand ahd. gris, grioß, mhd. grieß - 'Sand(korn), Schwemmsand, Schwemmkies	Griesstätt, Lenggries, Grießenbach (Obb.); Gries im Sellrain, Gries a. Brenner (Tirol)
-heim / -ham	-heim (oft zu -ham abgeschwächt) Endung, die ähnlich den -ing-Namen deuten auf eine Siedlungszeit erst ab dem 10./11. Jhd. und bezeichnen meist kleine Siedlungen.	Aschheim (Obb.), Alteglöfsheim (Opf.), Bergham (OÖ), Siezenheim (Sbg.)
-hofen	Hof m., ahd. hof, mhd. hof - 'in einen Wohnkomplex einbezogener eingezäunter Platz, bäuerliches Anwesen, fürstliche Residenz, fürstliches Gefolge und Milieu' -hof, -hofen, -höfen, niederdt. -hoven: als Einzelhof oder Gruppe von Gehöften angelegte Siedlung (Die -ing-Orte sind die ältesten Siedlungen, dann folgen die -heim-, älteren -hofen- und die -hausen-Orte.)	Egenhofen, Pfaffenhofen Possenhofen (Obb.); Osterhofen (Ndb.); Bischofshofen, Mitterhofen, Schwaighofen (Sbg.); Hofen, Ruprechtshofen, Unterthurnhofen (NÖ)
-ing, -ingen	Die -ing-Orte (Sippensiedlungen) sind die ältesten Siedlungen im bajuwarischen Raum	Grafring, Aibling, Freising, Otterfing (Obb.); Kötzing (Opf.); Straubing (Ndb.)

Namensbestandteil	Bedeutung	Beispiel
-kofen	Auf die durch Rodung gewonnenen Wohnplätze (Die -kofen- und -hofen-Orte bezeichnen bereits Dauersiedlungen und wurden später als die -ing-Orte gegründet.)	Aßkofen; Edlkofen (Obb.); Gangkofen, Haimelkofen, Hankofen, Hüttenkofen; Mengkofen (Ndb.); Allkofen (Opf.)
Laim, Loam	Lehm, Leim Lehm - ahd. leimo, leim, mhd. leim(e), mnd. lēm, germ. laima, laiman Laut Grimm und Grimm (1999) ist Lehm die nieder- und mitteldeutsche Form zu dem eigentlich hochdeutschen Leim, leimen	Berg am Laim, Laim, Lehel [Lächl] (Stadtteile in München); Laimbichl, Laimgrub, Laimgruben (Obb.); Laim (Sbg.); Zloam (am Grundlsee, Steiermark)
Letten	Ton	Buschletten (Vogelschutzgebiet bei Ingolstadt), Lettenbichl (Obb.); Lettenkeuper
Loch, -loch, Lo-	Topographischer Name für Wald mhd. lôch (lôh) = Gebüsch, Wald, Gehölz	Lochhausen (Obb.); Loch (Vorarlberg); Loch (Tirol)
-leiten, -leite, Leitn Leithen, -leithen	häufig Terrassenkanten (mhd. lite, ahd. [h]lita, verwandt mit 'lehnen', eigtl. = 'Geneigte') Berghang; Abhang; Berglehne, ein steiler Hang („A gache Leitn“)	Glenleitn (am Kochelsee, Obb.), Hausleiten, Hochleithen (NÖ) Roßleithen (OÖ) Sonnleitn, Friedberger Leite
Moos (auch Mösl u.ä., plural Möser)	Niedermoor	Donaumoos, Erdinger Moos, Weitmoos bei Aibling, Moosach, Moosburg (Obb.)
Ried / Riede / Riad (die)	mhd. riet = gerodetes Stück 1) Land, rieten = ausrotten; ein Feld, auch eine abgeschlossenes Gebiet mit mehreren Feldern 2) Nutzfläche in einem Weinberg 3) Flur Achtung: nicht zu verwechseln mit dem alemannischen (das) Ried für Niedermoor	Agatharied (Lkrs. Miesbach, Obb.), Geroldried, Geretsried (Lkrs. Bad Tölz-Wolfratshausen, Obb.), Gottenried (bei Oberstdorf); Ried im Traunkreis (OÖ); Ried im Zillertal (Tirol)
Riedel (der)	Hügel, Riedellandschaft: schmaler, langgestreckter, flacher Geländerücken zwischen zwei Tälern.	Bernried (am Starnberger See, Obb.); Bernried (Lkrs. Deggendorf, Ndb.); Adneter Riedl (Sbg.)
stadt, -statt, -städt, -stetten	in schon mittelalterlich überlieferten Ortsnamen (zunächst) lediglich Stätte, Stelle, erst im 12 Jhd. entwickelte sich für mhd. stat die Bedeutung "Siedlung mit Marktrecht und Selbstverwaltung"	Altmannstetten, Altstetten, Ingolstadt, Heimstetten (Obb.); Stetten (Obb. / NÖ); Bayerstetten, Beckstetten (Allgäu); Amstetten (NÖ); Hallstatt (Sbg.)
Schwaig, Schwaige, Schweig	Meist nasse, z.T. moorige Flächen (unbedingtes Grünland) ahd. sweiga = „Viehhof“; mhd. sweige = Viehhof, Rinderherde, Sennerei und zugehöriger Weideplatz, Gutshof (Schwaighof). Vgl. schwaigen = eine Schwaige bewirtschaften Schwaiger = Bewirtschafter eines Schwaighofs	Rothschwaig, Schwaiganger, Grünschwaige (Obb.); Schwaigeralm (Obb., Tirol); Oberschwaig (Obb., OÖ); Schwaighofen (Sbg.)
Sulz	Salz, Sole (ahd. sulza oder sulze - Begriff für Salzwasser, Salzbrühe und Sole oder zur Bezeichnung stark mineralhaltiger Gewässer)	Sulzbach-Rosenberg (Opf.); Sulzbach am Inn (Ndb.); Sulzbach, Sulzemoos (Obb.) Sulzbach (NÖ, OÖ, Sbg., Steiermark)

A-01: Böden und Landschaften im Bereich des Großglockners

Othmar Nestroy¹

¹ Institut für Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Graz

Einstimmung

Geehrte Kolleginnen, geehrte Kollegen,

Mir wird die Ehre und das Vergnügen zuteil, eine mehrtägige Exkursion durch das Großglocknergebiet zu führen, um Ihnen vor allem die Schönheit wie auch die bodenkundlichen Besonderheiten dieser Region näher zu bringen. Selbst Schlechtwetter – ab rund 1.600 m Seehöhe kann es in jedem Monat Schnee geben – soll nicht die Freude am Erschauten und Erlebten trüben. Deshalb ist bewusst eine höhere Zahl von Haltepunkten außerhalb der vorgesehenen Bodenprofile vorgesehen, um bei Schlechtwetter auf diese zurückgreifen zu können.

Der thematische Schwerpunkt dieser Arbeitsexkursion liegt bei der Beschreibung und Interpretation von Böden im Hochgebirge – speziell im Bereich der Scheitelstrecke der Großglockner-Hochalpenstraße und der Gletscherstraße –, verbunden mit den Einflüssen der bodenbildenden Faktoren, insbesondere des Reliefs, Klimas und Ausgangsgesteins.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung werden auch – thematisch übergreifend – geoökologische und -morphologische Aspekte angesprochen, da es in den Naturwissenschaften keine starren Grenzen gibt, vielmehr anregende Querverbindungen und -beziehungen: Nicht nur reine Fakten, sondern Zusammenhänge mögen beitragen, die Schönheit und Vielfalt dieser Region bewusster zu erfassen.

Da aus Gründen der Sicherheit die Wetterbedingungen für das Tagesprogramm bestimmend sind, kann dieser Exkursionsführer, bei dem die Standorte in alphabetischer Reihenfolge aufgezählt sind, nur als Rahmenprogramm gesehen werden, das nach den gegebenen Umständen modifiziert werden muss – ein gewisses Maß an Flexibilität darf deshalb bei den Exkursionsteilnehmern vorausgesetzt werden.

So wünsche ich allen Teilnehmern während dieser Tage in der Gebirgskulisse der Hohen Tauern, im „Schatten“ des Großglockners, viele positive fachliche wie auch persönliche Eindrücke und Erfahrungen.

O. Nestroy

Vorgesehenes Programm

Die Anreise mit einem Autobus erfolgt von München über Rosenheim, Kufstein, Mittersill und Zell am See zur Großglockner-Hochalpenstraße. Auf dieser fahren wir nach zahlreichen Halten zur Erläuterungen der Gesteine und der morphologischen Situation einst und jetzt über das Fuscher Törl bis zum Glocknerhaus an der Gletscherstraße.

In den folgenden Tagen ist eine Begehung des Hofmannsweges mit einer Carbonathaltigen Braunerde (Stockwerksprofil) im Bereich der Gamsgrube sowie mit glazialmorphologischen und vegetationskundlichen Erläuterungen vorgesehen, weiter ein Typischer Moder-Ranker aus Serpentin sowie ein oberbodenverdichteter, schwach podsolierter Haftnässe-Pseudo-

gley im Bereich des Fallbichls, eine carbonatfreie Typische Braunerde im Bereich von Senfteben und ein carbonatfreier Grobmaterial-Rohboden im nördlichen Bereich des Hochtor-Tunnels, schließlich die Besichtigung und eingehende Erläuterungen der ¹⁵N-Versuchsfläche auf einem oberbodenverdichteten, schwach podsolierten Haftnässe-Pseudogley im Bereich des Wallackhauses.

Geographisch-landschaftskundliche Definition für den Begriff Hochgebirge

Nach C. Troll (1955), zitiert aus Franz (1979): „Hochgebirge sind Gebirge, die sich in dem jeweiligen Klimagürtel zu solcher Meereshöhe erheben, dass sie den Formenschatz, das Pflanzenkleid, die Verwitterungsböden und den Landschaftscharakter annehmen, die man mit

der ursprünglich in den Alpen gewonnenen Vorstellung eines Hochgebirges verbindet. Dazu gehört, dass sich die Gebirge über die obere Grenze des Waldes und Baumwuchses erheben; weiter, dass sich der an den nivalen Klimabereich gebundenen Formenschatz ausbilden konnte; schließlich, dass sie in der Eiszeit bzw. in den Eiszeiten über die damalige Schneegrenze aufragten, so dass sich der an den nivalen Klimabereich gebundene Formenschatz ausbilden konnte; schließlich, dass in der heutigen Landschaft durch eine starke Wirkung der Bodengefrorenis der mechanische Gesteinszerfall, die Strukturbodenbildung und die solifluidale Bodenabtragung flächenhaft wirksam werden konnte. Diese Höhenstufe und die Grenze der Hochgebirgsnatur erheben sich in den Tropen auf über 4.000 m, in den trockenen Gürtel der Erde auf über 5.000 m. In den gemäßigten Breiten senkt sie sich herab und wo sie den Meeresspiegel erreicht, beginnt im Allgemeinen das Polargebiet im geographisch-landschaftlichem Sinne.“

Besonderheiten alpiner Böden

1. Die Bodenbildung verlangsamt sich wegen abnehmender Temperaturen bei zunehmender Höhe, das Vegetationsfenster wird enger. Infolge der kurzen Aperaturzeit – sie beträgt in 600 m Höhe 9, in 1.000 m 8, in 1.500 m 6, in 1.800 m 5 und in 2.400 m nur mehr 2 ½ Monate – erfolgt auch ein Bodenregenerieren langsamer.
2. Die Niederschläge nehmen mit der Höhe zu, die Evapotranspiration wird geringer, deshalb ergibt sich ein Überschuss im Bodenwasserhaushalt und damit wird einer Pseudovergleyung wie auch Podsolierung Vorschub geleistet.
3. Es nehmen Frostverwitterung und – wenn auch mit gewissen Einschränkungen – Insolationsverwitterung zu, ebenso die Strahlung mit der Höhe und damit die Einstrahlung und der Wärmegenuss an Südhängen.
4. Die chemische Verwitterung nimmt mit der Höhe ab, somit verschieben sich auch die Tonneubildungsrate und auch die Kationenaustauschkapazität mehr auf den Humusanteil.
5. Weiters nimmt die Mineralisierungsrate und

somit der Abbau humoser Substanzen ab. So kommt es zu einer Anreicherung von Humus mit steigender Höhe. Deshalb weisen alpine Böden nicht nur im Oberboden, sondern vielfach auch in den tieferen Horizonten einen überraschend hohen Humusgehalt auf. Dieses namentlich in den subalpinen und alpinen Stufen auftretende Phänomen hat schon W. Graf zu Leiningen (1908) erkannt und als „Alpenhumus“ bezeichnet; dieser Terminus fand in der Literatur Eingang.

6. Infolge Seichtgründigkeit wie auch leichter Bodenart sind trotz der hohen Niederschläge viele Pflanzen mit besonderen Transpirationsschutzeinrichtungen ausgestattet, um auf diese Weise klimatische Trockenperioden überleben zu können.

7. Der pH-Wert nimmt infolge der Versauerung, ausgelöst vom höhenbedingten Wechsel von Laubwäldern zu Nadelwäldern, ab. Dieser Prozess kann jedoch durch den oft nicht unbedeutlichen Eintrag von Flugstaub, dem verstärktes Augenmerk zu widmen ist, kompensiert oder zumindest abgeschwächt werden.

8. Prozesse der Solifluktion nehmen zu und führen oft zu tiefgreifenden Störungen der Bodenentwicklung. So ist die Solifluktion oft der begrenzende Faktor für die Bodenmächtigkeit und führt zu einem dynamischen Grenzgleichgewicht zwischen Hangneigung und Mächtigkeit des Solums. Deshalb ist es wichtig, zwischen Bodenmächtigkeit und Reifegrad zu differenzieren, da es sich durch die oben geschilderte Dynamik nicht um parallel ablaufende Prozesse handeln muss. Tief- oder Seichtgründigkeit dürfen deshalb nicht als Kriterien für den Bodenreifegrad herangezogen werden, da Überschüttung bzw. Solifluktion diese positiv wie negativ verändern können.

9. Da alle diese Faktoren auf kleinstem Raum wechseln können, ist dies auch das Typische für den kleinräumigen Wechsel von Standorten in alpinen Hang- und Steillagen.

10. In den Alpen ist in der Regel das anstehende Gestein von Deckschichten unterschiedlicher Art überlagert, sodass die geologische Karte nur eine bedingte Aussagekraft zukommt, denn oftmals sind glaziale und peri-

glaziale Deckschichten und durch Material der Seitenmoränen die Talflanken „tapeziert“, sodass diese das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung darstellen. Dazu kommen noch Massenbewegungen, wie Lawinen, Schwemm- und Murschuttfächer, Berg- und Felsstürze, Moränen, ferner Depositionen von Flugstaub.

Diese äolischen Deckschichten sind speziell auf den Kalkplateauböden mit Resten von Altlandschaften Paläoböden, wie Terra fusca und Terra rossa mit Geröllen („Augensteine“) alter Flusssysteme wie auch mit Flugstaubeinwehungen vermischt. So darf der hohe Anteil an Paläoböden im Bereich der Kalkplateauberge der Alpen nicht unerwähnt bleiben. Diese bilden, sei es als fossile (Rest-)Böden infolge Überdeckung oder als Reliktböden nahe an der oder direkt an der Oberfläche, vielfach die Basis für die gegenwärtige Vegetation. In vielen Fällen kann man diese Böden als Sediment in Dolinen, Poljen, Karren oder in vom Plateau herabziehenden Gräben, eng vergesellschaftet mit rezenten Bodenbildungen, finden.

Daneben kann es auch durch eine mächtige Auflage von Rohhumus in den obersten Bereichen zu einer bedeutenden Veränderung der Bodenreaktion kommen, derart, dass auf carbonatischem Gestein nebeneinander Pflanzen, wie z.B. *Rhododendron ferrugineum* und *Rhododendron hirsutum*, die völlig heterogene Milieubedingungen bevorzugen, vorkommen. Dies ist auf oft extrem sauren Auflagehumusschichten über carbonatischem Material möglich.

11. Böden alpiner Bereiche weisen gegenüber Böden in tieferen Lagen eine höhere Empfindlichkeit auf. Dies gilt besonders gegenüber Beweidung (Viehgewicht, Überweidung), mechanischen Belastungen, speziell jener, die durch forcierte Ausübung von Winter- wie Sommersportarten ausgesetzt sind. Zu nennen

wären an dieser Stelle der Frühjahrsschilau (Schäden durch Schikanten, ferner Pistengeräte und Mountainbiking).

12. Ein in der Mehrzahl der Böden vorkommender hoher Schluffanteil kann die Erosion verstärken. Deshalb ist der Begrünung von Schipisten sowie der stabilisierenden Wirkung einer ganzjährigen und flächendeckenden Vegetationsdecke ein besonderes Augenmerk zu schenken. Aus dem oben Gesagten ergibt sich demnach eine sehr kleinräumige Differenzierung in Form eines Mosaiks von Bodentypen, dem man am besten durch eine Darstellung in Form von Assoziationskarten bzw. Landschaftsquerschnitten gerecht werden kann.

13. Einigermaßen exakter können Böden auf Moränen dank des Vorhandenseins von Raum-Zeit-Marken typologisch abgegrenzt und auf diese Weise ein Konnex zwischen geomorphologischer Position und Bodentyp gefunden werden. In einigen Modelllandschaften, wie z.B. im Vorland des Salzachgletschers kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Moräne und Stand der Bodenentwicklung konstatiert werden; dies gilt vor allem für die jüngeren Moränen, die kaum überfahren wurden und so kaum eine oberflächige Veränderung erfahren haben.

Noch deutlicher sind diese Zusammenhänge auf den Terrassen in deren Vorländern sichtbar. Hier ist eine sehr signifikante Abhängigkeit von Alter der Terrasse zum betreffenden Boden festzustellen.

14. Alpine Böden besitzen ein gutes „Langzeitgedächtnis“. Dies bedeutet, dass an der Profilausbildung und -abfolge die oft weit zurückreichende Standortgenese rekonstruiert werden kann.

15. Das gestörte Profil ist die Regel, das ungestörte die Ausnahme.

Abb. 2: Informationspunkte



Legende

- Bikers Point
- Großglockner-Souvenirs
- Kinderspielplatz
- Kasse
- Panorama
- Ausstellung
- Nationalpark-Information
- Info-Tafel
- Toilette
- Wildpark

- 1 Pifflkar 1.620 m**

Naturlehrweg mit Schautafeln und Vogelstimmen-Info (Gehzeit ca. 30 Minuten). Im 1. Stock des Shop-Gebäudes wird die Sonderschau „Tauern – Passwege über die Alpen“ gezeigt. Neu: Kinder-Themen-Spielplatz „Die Goldwäscher“.
- 2 Hochmais 1.850 m**

Eindrucksvoller Aussichtspunkt auf den Talschluss und die imposanten Gletscher des Ferleitentales. Schautafeln informieren über die Gletscher, das Rotmoos und die Höhenstufen der Vegetation.
- 3 Museum Alpine Naturschau 2.260 m**

Entdecken Sie die hochsensible und äußerst vielfältige Bergwelt der Hohen Tauern mit ihren besonderen Tieren und Pflanzen. Eine Sehschule der Natur, die auch an Schlechtwettertagen – besonders durch unser Kino mit der „Murmi Show“ – ein attraktives Ausflugsziel darstellt. Ab 9.00 Uhr geöffnet.
- 4 Edelweiß-Spitze 2.571 m**

Höchster Punkt der Großglockner Hochalpenstraße, mit einem herrlichen Panoramablick auf mehr als 30 Dreitausender (Für die ca. 2 km lange Edelweißstraße besteht ein Fahrverbot für Busse). **Bikers Point:** Reserviertes Park- und Rastareal für Motorradfahrer.

- 5 Fuschertörl 2.428 m**

Eine Gedenkstätte, gestaltet vom international renommierten Architekten Clemens Holzmeister, erinnert hier an die beim Bau der Straße tödlich verunglückten Arbeiter: Aussichtsterrasse mit Blick auf den Großglockner; zugleich einer der schönsten Fotostandorte.
- 6 Informationsstelle Greifvögel 2.320 m**

Anhand von Schautafeln werden die im Glocknergebiet heimischen Greifvögel dargestellt und beschrieben.
- 7 Fuscher Lacke 2.262 m**

Die Ausstellung „Bau der Straße“ präsentiert eindrucksvoll die interessante Geschichte des Baues der Großglockner Hochalpenstraße. Im Freigelände ergänzt ein Rundweg um die malerische Fuscher Lacke diesen Erlebnisbereich. Kinder-Themen-Spielplatz „Bau der Straße“.
- 8 Geologischer Lehrweg 2.290 m**

Schwerpunktthema dieser geologischen Ausstellung ist die Entstehung der Gesteine der Hohen Tauern sowie ein Gesteinsquiz.
- 9 Hochtör 2.504 m**

Hier am höchsten Punkt der Durchzugsstraße verläuft auch die Landesgrenze zwischen Salzburg und Kärnten. Jeweils bei den Portalen des 311 m langen Tunnels beginnt bzw. endet ein mit zahlreichen Schautafeln illustrierter Wanderweg, der sogenannte „Kelten-, Säumer- und Römerweg“ (Gehzeit ca. 25 Minuten). Neben dem Hochtör-Nordportal verbleibt üblicherweise bis Ende August, insbesondere zur Freude der Kinder, eine Naturschnee-Rutschbahn.
- 10 Schöneck 1.953 m**

Unter dem Titel „Wunderwelt Glocknerwiesen“ widmen sich eine Naturschau und ein botanischer Rundwanderweg der Blütenpracht und Insektenvielfalt dieser einzigartigen Bergwiesen. Kinder-Themen-Spielplatz „Vom Ei zum Schmetterling“. Hier finden Sie auch die Sonderschau „Sonnblick“, die Ihnen anhand von Schautafeln einen Einblick in die Arbeit von Europas höchster Wetter-Station am Sonnblick gibt.
- 11 Besucherzentrum auf der Kaiser-Franz-Josefs-Höhe 2.369 m**

Hier angekommen, stehen Sie direkt vor Österreichs höchstem Berg, dem Großglockner (3.798 m), mit Blick auf den längsten Gletscher der Ostalpen, die Pasterze.
Ausstellung „Großglockner“: Auf 4 Stockwerken alles rund um das Thema Berg mit Erlebnispfad und neuer Ausstellung "Faszination Eis & Gletscher", ein Blick in die innere Welt des klirrenden Elements.
Glockner-Panorama-Raum und Großglockner-Kino: Beeindruckende Impressionen vom höchsten Berg Österreichs.
Großglockner-Energie-Raum: Alles über die Energielinien und Kraftfelder dieses Berges.
Sonderausstellung „WasserLeben“:
Wilhelm-Swarovski-Beobachtungswarte: Spektakulärer Aussichtspunkt in das Hochgebirge mit modernsten optischen Geräten.
Panoramawege ausgehend von der Kaiser-Franz-Josefs-Höhe:
Gamsgrubenweg: Leicht begehbarer Panoramaweg oberhalb der Pasterze. 3 von 6 Tunnels vermitteln das Geheimnis von Kristall, Gold und Wasser. Integriert in das Projekt „Erlebnisreise Wasser-Gold“ des Land Kärntens. **Kaisersteinweg:** Kurze Wanderung zur Wilhelm-Swarovski-Beobachtungswarte. **Gletscherweg:** Alpiner Steig zum ewigen Eis der Pasterze.
- 12 Kasereck 1.911 m**

Malerischer Aussichtspunkt an der Waldgrenze mit Schautafeln über die Natur- und Kulturlandschaft des Oberen Mölltals.

Profilbeschreibungen

1. Fallbichl

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

Der Standort befindet sich in 2,250 m ü. NN im Unterhangbereich mit 20 °W.

Den geologischen Untergrund bilden die Bündner Schiefer der Brennkogel-Fazies und die Kammlagen zwischen Lacknerberg und Scharneck liegen über dem hellen Marmorieren der Seidelwinkel-Trias. Den oberflächennahen Untergrund bilden die in der Landschaft deutlich hervortretenden und aus östlicher Richtung geschobenen Jungmoränenmaterialien.

Die klimatische Angaben lauten: mittlere Jahrestemperatur < 1,5 °C, mittlere 14-Uhr-Temperatur von April bis August < 10 °C, Zahl der Vegetationstage < 165 bei einem Jahresmittel der Niederschläge von 1.500 bis 2.000 mm (= kühl gemäßigt, stark humid).

Der Bodenwasserhaushalt kann als wechselfeucht mit Überwiegen der feuchten Phase eingestuft werden und nach der Bodenschätzung wird der Standort als 4 Hu eingestuft.

Profilbeschreibung:

A 5-0 cm: Wurzelfilz und Moder, sehr stark humos, sehr stark durchwurzelt, übergehend

Ae 0-10 cm: lehmiger Sand, geringer Grobanteil (verwitternder Schutt), stark humos (Feuchtmoder), kalkfrei, Reaktion: stark sauer, undeutlich feinkrümelig, Farbe (Fließgrenze, FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), leicht fahlfleckig, stark durchwurzelt, absetzend

Bs,g 10-15 cm: lehmiger Sand, geringer Grobanteil (verwitternder Schutt), humos, kalkfrei, Reaktion: stark sauer; undeutlich blockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), einige Rostflecken, schwach durchwurzelt, wellig und nesterhaft übergehend

BvCv 15-25 cm: lehmiger Sand, hoher Grob-

anteil (Schutt), schwach humos, kalkfrei, Reaktion: sauer; undeutlich blockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 3/4 (dunkelbraun), einzelne Rostflecken, Wurzeln auslaufend, absetzend

Cv1 25-35 cm: Sand, hoher Grobanteil (Schutt), schwach humos, kalkfrei, Reaktion: schwach sauer; undeutlich kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 4/4 (braun), zahlreiche Verwitterungsflecken (geröteter Kalkglimmerschiefer), Wurzeln auslaufend, absetzend

Cv2 35-45+ cm: Sand, sehr hoher Grobanteil (Schutt), humusfleckig, stark kalkhaltig, Reaktion: alkalisch; lokale Kalknester, einige Rostflecken, Wurzeln auslaufend, an der Unterkante kolluviale Schichten von Glimmerschiefer und Kalkglimmerschiefer.

Bodentyp (Systematische Gliederung der Böden Österreichs – Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011, ÖBS 2011): oberbodenverdichteter, schwach podsolierter Haftnässe-Pseudogley, stark kolluvial beeinflusst.

Bodenform (KA5): Einstufung nicht möglich; eventuell: schwach podsolige Braunerde
Horizontierung: (eventuell) O / Aeh / Sw-Bhs / Bv-ilCv / ilCv1 / IllelCv2.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Endocalcaric Skeletic Stagnic Cambisol (Humic, Nechic)

2. Gamsgrube

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

2.490 m ü. NN, welliger Hang, 23° S, eine Flugsandmulde, etwa 70 m oberhalb des Gamsgrubenweges im ausladenden Mittelhangbereich zwischen Fuscherkar Kopf, Gruben Scharte und Mittlerem Pasterzen Kees.

Aus carbonathaltigen Flugsanden, die von den vorwiegend aus Kalkphylliten und Kalkglimmerschiefern geformten Bratschenhängen des Fuscherkar Kopfes meist zu Beginn des Sommers ausgeweht werden und insgesamt eine Mächtigkeit bis zu 3,1 m erreichen können, hat sich der heutige, mehrmals über-

lagerte Boden entwickelt: eine Carbonathaltige Braunerde (Stockwerksprofil).

Die mittlere Jahrestemperatur beträgt <1,5 °C, die mittlere 14-Uhr-Temperatur von April bis August < 10 °C und die Zahl der Vegetationstage < 165 bei einem mittleren Jahresniederschlag von 1.500 – 2.000 mm (= kühlgemäßigt, stark humid).

Vegetation: Blaugrasrasen (Seslerietum) mit *Silene acaulis*, ferner *Carex verna*, *Artemisia borealis*, *Draba sp.*, *Erysimum sp.*, *Sedum alpestre*. Der Standort ist streng geschützt und darf deshalb außerhalb der vorhandenen Wege nicht betreten werden.

Profilbeschreibung:

A1 0-10 cm: Sand mit geringem Grobanteil (Grus), humos (Moder), stark kalkhaltig, Reaktion: neutral; locker, porös, nicht plastisch, nicht klebend, stark durchwurzelt, übergehend

Bg 10-45 cm: Sand mit geringem Grobanteil (Grus), einige Humusflecken, stark kalkhaltig, Reaktion: neutral; Farbe (FG): 10 YR (dunkelbraun), undeutlich blockig-kantengerundet, undeutliche übergehend

B1 45-100 cm: Sand mit geringen Grobanteil (verwitternde Steine), stark kalkhaltig, Reaktion: neutral; locker, nicht plastisch, nicht klebend, geringe Durchwurzlung, übergehend

B2a, beg 100-145 cm: Sand, schwach humos, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), kalkfrei, Reaktion: neutral; locker, einige Eisenflecken, geringe Durchwurzlung, allmählich übergehend

BC1 145-175 cm: sandige Glimmerschieferverwitterung, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), kalkfrei, Reaktion: neutral; dicht gelagert, geringe Durchwurzlung

BC2 175-190+ cm: Sand, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), kalkfrei, Reaktion: neutral; locker, verwitterungsfleckig, Wurzeln auslaufend

Bodentyp (ÖBS 2011): Carbonathaltige Braunerde (Stockwerksprofil)

Bodenform (KA5): BB-RZ, Braunerde-Pararendzina aus carbonatischem Flugsand über fossiler Braunerde aus Kalkglimmerschiefer und Kalkphyllit;

Horizontierung: eAh / Bv-elCv / elCv / IlfAh-Bv / Bv-ilCv / ilCv.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Calcaric Brunic Arenosol (Aeolic, Novic, Ochric, Thapto-mollic).

Tab. 1: Analysendaten Gamsgrube

Tiefe [cm]	pH ¹⁾	Carbonat ²⁾ [M.-%]	Humus ³⁾ [M.-%]	KAK ⁴⁾ [cmol _c .kg ⁻¹]	Korngrößen ⁵⁾ [S:Z:T in M.-%]
0-10	7,0	60	2,3	15	92:7:1
10-45	6,9	39	0	11	90:9:1
45-100	7,1	24	0	32	88:11:1
100-145	7,2	0	1,5	n.b	82:16:2
145-175	6,9	0	0	n.b	81:17:2
175-190	6,9	0	0	n.b.	81:16:3

Methoden: 1) in nKCl (1:2,5); 2) nach Scheibler; 3) nach Walkley-Armstrong-Black, modifiziert nach de Leenheer; 4) nach Mehlich-de Leenheer-Hofmann; 5) kombiniertes Sieb- und Pipettverfahren nach Natriumpyrophosphatvorbereitung, Auswertung nach dem Texturdreieck der Bodenkartierung.

3. Hochtort-Standort:

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

Westlich der Nord-Einfahrt des Hochtortunnels, 2.510 m ü. NN, flacher Hang, 6 ° NE, verwitterter Schutt (kalkreiche Phyllite, denen Quarzite,

Granatmuskovitschiefer und Dolomit beige-mengt sind) mit starker Gelifluktion und mit lückenhafter Pioniervegetation (Seslerio-Silene-tum) sowie Polster von *Silene acaulis*, die meist von *Salix herbacea* und *Polygonum vivipara* durchwachsen sind.

Profilbeschreibung:

Ai 0-2 cm: Humusschwarte, größtenteils von einer Flechtenkruste bedeckt, Farbe (FG): 10 YR 2/1 (schwarz), absetzend

C1g 2-10 cm: schwach humos, fein zerfallender Phyllit, kalkfrei, Reaktion: schwach sauer; und Muskovitschiefer, geringer Grobanteil, vereinzelt Schutt, Farbe (FG): 10 YR 3/2 (bräunlich schwarz), vereinzelt kleine Rostflecken, übergehend

C2 10-18+ cm: verwitternder Grobschutt aus vorwiegend kalkfreiem Phylliten und Muskovitschiefern, z.T. rostfleckig.

Bodentyp (ÖBS 2011): Carbonatfreier Grobmaterial-Rohboden (Polsterboden über schwarzen Humusschwarten).

Bodenform (KA5): OLn, Normlockersyrosem aus Verwitterungsschutt von Phyllit und Muscovitschiefer;

Horizontierung: Ai / ilCv1 / ilCv2.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Eutric Hyper-skeletal Leptosol (Ochric)..

Tab. 2: Analysendaten Hochtör (Methoden s. Tab. 1)

Tiefe [cm]	3-8
pH	6,0
Carbonat [M.-%]	0
Humus [M.-%]	0,5
<0,002 mm [M.-%]	2
0,002-0,02 mm [M.-%]	4
0,02 mm [M.-%]	58
0,2-2,0 mm [M.-%]	36
Tonmineralspektrum:	
78 % Illite, 14 % Chlorite, 8 % Kaolinite	

4. Senfteben

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

Der Standort liegt in 1.930 m ü. NN und ein

SW-Hang mit 23° Neigung.

Die späteiszeitlichen Moränenreste befinden sich unterhalb des SE-orientierten Steilhanges des Wasserrad Kopfes (3.032 m) zwischen 1.900 und 1.950 m. Der Moränenwall besteht aus grobem Schutt in Sandpackung. Den Hanguntergrund bilden Grobblöcke.

Der Moränenwall ist stark erodiert und lässt Furchen und Rücken erkennen.

Das bodenbildende Ausgangsmaterial ist sehr heterogen: Die sandigen Anteile stammen aus der Verwitterung von carbonathaltigem Bündner Schiefer, das hier weit verbreitete Gestein darstellt, und sind durch Wasser lokal transportiert. Die oberflächlich erkennbaren Blöcke mit oft mehr als einem Meter Durchmesser, stammen von den ebenfalls oftmals auftretenden Serpentiniten.

Das vorliegende Profil ist kolluvial beeinflusst und entstand aus Sedimenten über der Grundmoräne.

Die mittlere Jahrestemperatur beträgt < 1,5 °C, die mittlere 14-Uhr-Temperatur von April bis August liegt bei 10 °C, die Zahl der Vegetationstage bei < 165 und die mittlere Jahresniederschlagssumme bei 1.500 – 2.000 mm (= kühl gemäßigt, stark humid).

Der Bodenwasserhaushalt kann als gut versorgt, zur Trockenheit neigend bezeichnet werden.

Der Standort wird als Hutweide genutzt und ist als 4 Hu von der Bodenschätzung bewertet.

Profilbeschreibung

Ah 0-8 cm: lehmiger Sand mit geringem GA (Grus), stark humos (Moder), kalkarm, Reaktion: schwach sauer; undeutlich feinkrümelig, locker, Farbe (FG): 10 YR 3/2 (bräunlich schwarz), plastisch, nicht klebend, stark durchwurzelt, allmählich übergehend

ABg 8-18 cm: Sand mit geringem GA (Grus), schwach humos (Moder), kalkfrei, Reaktion: schwach sauer; undeutlich feinkrümelig-kantengerundet, locker, Farbe (FG): 10 YR 4/4 (braun), feinkrümelig-kantenscharf, feinporig, nicht plastisch, nicht klebend, einige kleine

Gleyflecken, durchwurzelt, allmählich übergehend

Bv 18-28 cm: Sand mit geringem GA (Grus), schwach humos (Moder), kalkfrei, Reaktion: neutral; undeutlich feinblockig-kantengerundet, locker, Farbe (FG): 10 YR 4/4 (braun), mittelblockig-kantenscharf, nicht plastisch, nicht klebend, durchwurzelt, allmählich übergehend

BvCv 28-40 cm: Sand mit mittlerem GA (Grus), humusfleckig, stark kalkhaltig, Reaktion: alkalisch; mittelblockig-kantenscharf, feinsporig, zerdrückbar, Farbe (FG): 4/4 (braun), nicht plastisch, nicht klebend, Wurzeln auslaufend, allmählich übergehend

C1 40-84 cm: grusiger Sand, Farbe (FG): 10 YR 5/3 (matt gelblichbraun), absetzend

C2 84-102+ cm: Sand zwischen Grundmoränenmaterial, Farbe (FG): 2,5 Y 5/2 (dunkel gelblichbraun).

Bodentyp (ÖBS 2011): carbonatfreie Typische Braunerde, kolluvial beeinflusst

Bodenform (KA5): BBn, Normbraunerde aus flachem Schwemmsand über Lokalmoräne; Horizontierung: Ah / Ah-Bv / Bv / IIBv-elCv / elCv1 / elCv2.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Endocalcaric Brunic Arenosol (Ochric).

5. Serpentin-Standort

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

Der Standort liegt auf 2.197 m ü. NN, im Bereich eines WSW-orientierten Mittelhanges der Albitzen Spitze (2.971 m) mit 25 ° Neigung. Das bodenbildende Ausgangsmaterial ist der weit verbreitete Serpentin, der auch morphologisch wie auch durch seine Farbe deutlich im Gelände erkennbar ist. Entsprechend dem Chemismus dieses Gesteins entwickelt sich erst allmählich eine flächendeckende Vegetation, die auch eine spezielle Zusammensetzung aufweist.

Die Lärchwiese wird gleichzeitig auch in Form als extensives Weideland genutzt, da die Bodenoberfläche auf dem Tangelhumus zahlreiche Moose und nur vereinzelt Gräser und

Kräuter erkennen lässt. Die Bodenwasserverhältnisse können als normal, gut versorgt bezeichnet werden.

Profilbeschreibung:

6-0 cm: Wurzelfilz, absetzend

A 0-12 cm: schluffiger Sand (Fingerprobe), mittlerer Grobanteil (Grus), stark humos (Moder und Tangelhumus), kalkfrei, Reaktion: schwach sauer; undeutlich feinkrümelig, locker, blockig, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), stark durchwurzelt, sonst keine biologische Aktivität, übergehend

Cv1 12-20 cm: schluffiger Sand (Fingerprobe), hoher Grobanteil (Grus und Schutt), stark humos, kalkfrei, Reaktion: sauer; Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), Wurzeln auslaufend

Cv2 20-40+ cm: hoher bis sehr hoher Grobanteil (Grus und Schutt) verwitternder Serpentin.

Bodentyp (ÖBS 2011): Typischer Moder-Ranker

Bodenform (KA5): RQn, Normregosol aus sandigem Verwitterungsschutt aus Serpentin; Horizontierung: O / Ah / Ah-ilCv / ilCv.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Eutric Mollic Hyperskeletal Leptosol (Humic).

6. Wallackhaus-Standort

Lage, Relief, Ausgangsmaterial, Klima, Vegetation und Nutzung:

Der Standort liegt in 2.300 m ü. NN und ist ein WSW-orientierter und gleichmäßig geneigter Hang der Mesenatenkuppe in 2.310 m mit 13 ° Neigung.

Das Ausgangsmaterial ist ein stark grusiger, schuttiger Glimmerschiefer über Fels, die Vegetation ein Curvuletum.

Der Jahresniederschlag beträgt zwischen 1.300 bis 2.000 mm, das Jahresmittel der Temperatur liegt < 1,5 °C, die mittlere 14-Uhr-Temperatur von April bis August liegt bei 10 °C und die Zahl der Vegetationstage bei < 165 (= kühl gemäßigt, stark humid).

Die Bodenwasserverhältnisse können als gut versorgt, gering wechselfeucht, teils krumen-

trocken, angesprochen werden. Die Nutzung ist eine Hutweide.

Profilbeschreibung:

A 0-3 cm: sehr stark humos (mullartiger Moder), undeutlich feinkrümelig, sehr stark durchwurzelt (Wurzelfilz), sonst keine biologische Aktivität, absetzend

APe 3-8 cm: lehmiger Sand, stark humos (mullartiger Moder), kalkfrei, Reaktion: stark sauer; undeutlich feinblockig-kantenscharf, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), einzelne Fahlflecken, schwach podsoliert, sehr stark durchwurzelt, sonst keine biologische Aktivität, absetzend

B1 8-13 cm: lehmiger Sand, geringer Grobanteil (Grus), humos, kalkfrei, Reaktion: stark sauer; undeutlich feinblockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 2/3 (bräunlich-schwarz), durchwurzelt, sonst keine biologische Aktivität, übergehend

B2 13-27 cm: lehmiger Sand, geringer Grobanteil (Grus) schwach humos, kalkfrei, Reaktion: stark sauer; undeutlich mittelblockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 2/3 (bräunlich-schwarz) schwach durchwurzelt, sonst keine biologische Aktivität, übergehend

BvCv1 27-40 cm: lehmiger Sand, mittlerer Grobanteil (Grus), schwach humos, kalkfrei, Reaktion: sauer; undeutlich feinblockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 2/3 (bräunlich-schwarz) gering durchwurzelt, keine sonstige biologische Aktivität, allmählich übergehend

BvCv 40-50+ cm: lehmiger Sand, hoher Grobanteil (Grus), schwach humos, kalkfrei, Reaktion: sauer; undeutlich mittelblockig-kantengerundet, Farbe (FG): 10 YR 3/3 (dunkelbraun), Wurzeln auslaufend, keine biologische Aktivität, verwitternder Glimmerschiefer.

Bodentyp (ÖBS 2011): oberbodenverdichteter, schwach podsolierter Haftnässe-Pseudogley, stark kolluvial beeinflusst.

Bodenform (KA5): (eventuell) schwach podsolierte Braunerde

Horizontierung: (eventuell) Ah / Aeh / Ah-Bv1 /

Ah-Bv2 / Bv-Cv1 / Bv-Cv2.

WRB-Klassifikation (WRB 2014): Stagnic Endoleptic Umbrisol (Loamic, Nechic, Protosodic).

Danksagung

Die vorbereitenden Arbeiten zur Großglockner-Exkursion wurden von der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft organisiert und finanziert. Für die Durchführung der Analysen zu den Profilen bedanken wir uns herzlich bei der Abteilung "Bodengesundheit und Pflanzenernährung" der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit sowie dem Institut für Bodenforschung der Universität für Bodenkultur, speziell bei Frau Angelika Hromatka und Herrn Ewald Brauner. Die Einstufung der Böden nach der deutschen Kartieranleitung (KA5) und nach der World Reference Base for Soil Resources (WRB) erfolgte durch Dr. Reinhard Jochum (Bayerisches Landesamt für Umwelt) und Dr. Peter Schad (TU München).

Literatur

- Blum, W.E.H., H. Spiegel und W.W. Wenzel (1996). Bodenzustandsinventur – Konzeption, Durchführung und Bewertung. 2. Aufl., Inst. f. Bodenforschung, Wien.
- Franz, H. (1979): Ökologie der Hochgebirge. Verl. E. Ulmer, Stuttgart.
- Franz, H. (1961): Das Glocknergebiet. Hochalpenexkursion, Exkursion G. In: Exkursionen durch Österreich. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 6, Wien.
- Franz, H. und F. Solar (1981): Die Pasterzenlandschaft im Glocknergebiet. In: Exkursion der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft 8. und 9. September 1972, Raum: Pinzgau/Salzburg, Wien.
- Eisenhut, M. (1981): Profilbeschreibungen. In: 3. Sonderheft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundliche Gesellschaft, Wien.
- KA5: Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Müller, H.W. und W.E.H. Blum (1981): Pedogenetische Kennzeichnung der Exkursionsprofile mittels mineralogischer und bodenchemischer Kennwerte. In: 3. Sonderheft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundliche Gesellschaft, Wien.
- Nestroy, O., G. Aust, W.E.H. Blum, M. Englisch, H. Hager, E. Herzberger, W. Kilian, P. Nelhiebel, G. Ortner, E. Pecina, A. Pehamberger, W. Schneider und J. Wagner (2011): Systematische Gliederung der Böden Österreichs – Österreichische Boden-

systematik 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., H. 79, Wien.

Solar, F. (1981): Zustandsbedingungen, Entwicklungszüge und Stoffumsatz alpiner Böden und Standorte.

In: 3. Sonderheft der Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundliche Gesellschaft, Wien.

Weiss, E. (1980): Weiter Beiträge zur Klimatologie des

Untersuchungsgebietes im oberen Bereich der Südrampe der Glocknerstraße. Veröff. d. Österr. MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern, Band 3, Universitätsverl. Wagner, Innsbruck.

WRB IUSS Working Group (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. Edited by P Schad, C van Huyssteen, E Micheli. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

Tab. 3: Analysendaten der Profile Fallbichl und Senfteben (Methoden s. Tab. 4)

Tiefe [cm]	Fallbichl					Senfteben			
	0-10	10-15	15-25	25-35	35-45	0-8	8-18	18-28	28-40
Probestelle	14/1527	14/1528	14/1529	14/1530	14/1531	14/1532	14/1533	14/1534	14/1535
pH [CaCl ₂]	3,85	4,25	4,68	6,24	7,44	6,04	5,78	6,63	7,75
pH [Ammonacetat]	n.b.	6,3	4,45	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
CaCO ₃ [M.-%] ¹⁾	0	0	0	0	9	0,4	0	0	51
Phosphat [mg/100 g]	1	0	0	0	0	n.b.	0	0	0
Phosphor [mg/kg] ²⁾	15	10	10	0	0	0	10	0	0
K ₂ O [mg/100 g] ²⁾	4,5	0,4	0,6	0,7	0,7	3,4	0,2	0	0,6
Kalium [mg/kg] ²⁾	37	3	5	6	4	28	2	0	5
Mg [mg/kg] ³⁾	47	15	17	58	114	149	20	12	7
TOC [M.-%] ⁴⁾	6,96	1,36	0,67	0,59	0,2	3,96	0,75	0,41	0,11
Humus [M.-%] ⁴⁾	12	2,3	1,2	1	0,3	6,8	1,3	0,7	0,2
Stickstoff [M.-%] ⁵⁾	0,40	0,11	0,08	0,06	0,04	0,30	0,09	0,08	0,03
C/N	17:1	12:1	8:1	10:1	5:1	13:1	8:1	5:1	8:1
Sand [M.-%] ⁶⁾	n.b.	65,5	71,7	81,6	84,9	n.b.	78	79,1	76,2
Schluff [M.-%]	n.b.	26,9	22,7	15,7	12,6	n.b.	19	18,1	20,7
Ton [M.-%]	n.b.	7,6	5,6	2,6	2,6	n.b.	3	2,8	3,1
Bodenart [BK] ⁷⁾	n.b.	IS	IS	S	S	n.b.	S	S	S
Eisen [mg/kg] ⁸⁾	1314	342	141	162	290	300	96	152	86
Mangan [mg/kg] ⁸⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	167	513	77
Kupfer [mg/kg] ⁸⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,6	3,3	1,5
Zink [mg/kg] ⁸⁾	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,1	0,3	0,1
Ca [cmol _c /kg] ⁸⁾	1,4	0,84	0,49	1,45	2,8	13	2,9	3,55	39,1
Mg [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,42	0,15	0,16	0,68	1,34	1,69	0,17	0,11	0,37
K [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,13	0,04	0,05	0,05	0,05	0,08	0,02	0,03	0,04
Na [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01
Al [cmol _c /kg] ⁹⁾	4,09	1,36	0,63	0,02	0	0,01	0,01	0	0
Fe [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,07	0,01	0	0	0	0	0	0	0
Mn [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,15	0,04	0,01	0,02
H-Wert [cmol _c /kg] ⁹⁾	0,343	0,091	0,048	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
KAK [cmol _c /kg] ⁹⁾	6,48	2,51	1,41	2,22	4,19	14,97	3,17	3,71	39,54
Arsen [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	19,6	18,4	18,7	13	50,8	17,2	40,2	30,3
Blei [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	34,8	26,8	24,8	13,8	50,2	31,1	30,3	14,2
Cadmium [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,2	0,2	0,4	0,2	0,5	0,6	0,9	0,3
Cobalt [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	12,8	18,4	18,5	12,7	15,5	19,4	18,8	7,3
Chrom [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	11	10,9	9,7	7,7	80,1	66,5	63,6	29,9
Kupfer [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	22,3	25	30,4	22	35,4	50,5	66,1	31
Nickel [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	32,2	41,6	58,7	33,2	88,4	131,8	208,3	57,5
Molybdän [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,8	0,5	0,6	0,3	0,5	0,5	0,6	0,2
Zink [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	34,8	41,9	45	32,8	78,3	71,6	72,5	29,7
Vanadium [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	13,2	13,2	12,1	10,9	24,4	17,6	15,9	8,9

Tiefe [cm]	Fallbichl					Senfteben			
	0-10	10-15	15-25	25-35	35-45	0-8	8-18	18-28	28-40
Hg [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,02	0,02	0,04	0,03	0,06	0,06	0,09	0,03
Natrium [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	80	90	100	220	60	30	40	50
Phosphor [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	539	515	763	473	374	427	711	458
Al [mg/kg] ¹⁰⁾	n.b.	8,9	9,3	9,4	7,8	14	11	9,8	5
Calcium [g/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,92	1,1	4,7	42,6	4,22	2,23	3,67	185
Kalium [g/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,67	0,74	0,84	0,68	0,85	0,53	0,62	0,59
Magnesium [g/kg] ¹⁰⁾	n.b.	2,02	2,72	4,25	28,6	5,36	4,44	5,85	4,52
Eisen [g/kg] ¹⁰⁾	n.b.	40	36	36	29	29	30	31	14
Mangan [g/kg] ¹⁰⁾	n.b.	0,43	0,68	0,93	0,59	1	1,4	1,6	0,72
Eisen [mg/kg] ⁸⁾	1314	342	141	162	290	300	96	152	86
Mangan [mg/kg] ⁸⁾	5	7	26	146	398	529	167	513	77
Kupfer [mg/kg] ⁸⁾	1,8	1,3	0,7	1,4	1	6,5	1,6	3,3	1,5
Zink [mg/kg] ⁸⁾	3,7	1,3	0,6	0,9	0,3	3,7	0,1	0,3	0,1
Illite [%]	47	79	n.b.	56	71	62	45	62	62
Chlorite [%]	12	4	n.b.	21	18	14	15	17	17
Kaolinite [%]	16	14	n.b.	9	11	7	17	8	8
Talk [%]	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	17	23	13	13
Smectite [%]	20	0	n.b.	0	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Mixed Layer [%]	5	3	n.b.	14	0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Fe-Oxalat [mg/kg]	5942	7775	3981	6742	2068	4943	6098	3939	63
Mn-Oxalat [mg/kg]	70	290	596	892	394	824	1616	1736	305
Al-Oxalat [mg/kg]	1123	1065	723	1072	13	945	1702	1380	177
Fe-Dithionit [g/kg]	27,67	48,06	43,04	46,49	33,14	35,17	41,46	37,15	14,05
Mn-Dithionit [mg/kg]	223	508	834	950	675	1545	2002	2102	597
Al-Dithionit [mg/kg]	1021	2061	1702	2100	537	1975	2582	1957	443
Fe _d - Fe _o [g/kg]	21,74	40,29	39,06	39,75	31,08	30,22	35,36	33,21	13,99
Fe _o /Fe _d	0,21	0,16	0,09	0,15	0,06	0,14	0,15	0,11	0,00

Tab. 4: Analysendaten der Serpentin- und Wallackhaus-Standorte

Tiefe [cm]	Serpentin-Standort		Wallackhaus-Standort					
	0-12	12-20	0-3	3-8	8-13	13-27	27-40	40-50
Probestelle	14/1308	14/1309	14/1521	14/1522	14/1523	14/1524	14/1525	14/1526
pH [CaCl ₂]	6,14	5,4	5,64	4,18	4,31	4,49	4,66	4,78
pH [Ammonacetat]	n.b.	6,43	n.b.	6,31	6,3	6,38	6,56	6,49
CaCO ₃ [M.-%] ¹⁾	0	0,1	0	0	0	0	0	0
Phosphat [mg/100 g]	0,1	0,6	7,9	1,3	0	0	0	0
Phosphor [mg/kg] ²⁾	1	13	44	16	10	10	10	10
K ₂ O [mg/100 g] ²⁾	3,4	2,3	42,6	5,3	1,2	0,3	0,3	0,4
Kalium [mg/kg] ²⁾	29	19	354	44	10	3	2	3
Mg [mg/kg] ³⁾	487	447	216	61	27	12	7	7
TOC [M.-%] ⁴⁾	4,18	4,63	n.b.	2,65	1,51	0,68	0,46	0,77
Humus [M.-%] ⁴⁾	7,2	8	n.b.	4,6	2,6	1,2	0,8	1,3
Stickstoff [M.-%] ⁵⁾	0,23	0,222	n.b.	0,22	0,131	0,078	0,059	0,075
C/N	18:1	21:1	n.b.	12:1	12:1	8:1	8:1	10:1
Sand [M.-%] ⁶⁾	0	0	n.b.	75	56,7	61,6	61	64,9
Schluff [M.-%]	0	0	n.b.	20,1	33,4	30,4	31,5	27,4
Ton [M.-%]	n.b.	n.b.	n.b.	4,9	9,9	8	7,5	7,7
Bodenart [BK] ⁷⁾	zS	zS	n.b.	IS	IS	IS	IS	IS
Eisen [mg/kg] ⁸⁾	437	466	352	427	398	182	77	79
Mangan [mg/kg] ⁸⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Kupfer [mg/kg] ⁸⁾	0	0	0	0	0	0	0	0

Tiefe [cm]	Serpentinit-Standort		Wallackhaus-Standort					
	0-12	12-20	0-3	3-8	8-13	13-27	27-40	40-50
Zink [mg/kg] ⁸⁾	0	0	0	0	0	0	0	0
Ca [cmol _e /kg] ⁸⁾	9,25	8,33	6,3	1,79	1,25	0,45	0,2	0,2
Mg [cmol _e /kg] ⁹⁾	5,05	4,65	2,08	0,55	0,27	0,11	0,06	0,06
K [cmol _e /kg] ⁹⁾	0,09	0,08	1,01	0,15	0,07	0,05	0,04	0,06
Na [cmol _e /kg] ⁹⁾	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al [cmol _e /kg] ⁹⁾	0	0,03	0,05	1,32	1,78	0,94	0,54	0,63
Fe [cmol _e /kg] ⁹⁾	0	0,01	0,03	0,01	0,01	0	0	0,01
Mn [cmol _e /kg] ⁹⁾	0,06	0,39	0,22	0,07	0,02	0,01	0,01	0,01
H-Wert [cmol _e /kg] ⁹⁾	0,002	0,002	0,002	0,214	0,13	0,06	0,037	0,033
KAK [cmol _e /kg] ⁹⁾	14,46	13,5	9,72	4,11	3,53	1,64	0,9	0,99
Arsen [mg/kg] ¹⁰⁾	13,6	12,9	n.b.	38,6	59	54,8	58,8	59,5
Blei [mg/kg] ¹⁰⁾	32,8	29	n.b.	38,1	33,6	47,3	32,2	28,3
Cadmium [mg/kg] ¹⁰⁾	0,2	0,2	n.b.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
Cobalt [mg/kg] ¹⁰⁾	51,2	52	n.b.	7,7	15,9	18,3	19,7	19,5
Chrom [mg/kg] ¹⁰⁾	1527	1620	n.b.	17,8	44,5	50,5	42,9	46
Kupfer [mg/kg] ¹⁰⁾	12,6	12,5	n.b.	14,6	30,2	36,2	39,9	33,9
Nickel [mg/kg] ¹⁰⁾	758,2	791,2	n.b.	26,2	58,2	65,3	66,7	68,7
Molybdän [mg/kg] ¹⁰⁾	0,1	0,1	n.b.	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5
Zink [mg/kg] ¹⁰⁾	51,1	49,9	n.b.	46,1	67	68,5	69,9	70,2
Vanadium [mg/kg] ¹⁰⁾	57,8	58,4	n.b.	27,4	23,3	22	21,7	21,6
Hg [mg/kg] ¹⁰⁾	0,04	0,03	n.b.	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
Natrium [mg/kg] ¹⁰⁾	30	30	n.b.	60	80	100	110	110
Phosphor [mg/kg] ¹⁰⁾	245	234	n.b.	515	560	458	478	471
Al [mg/kg] ¹⁰⁾	14	14	n.b.	8,4	14	15	15	16
Calcium [g/kg] ¹⁰⁾	2,57	2,46	n.b.	0,86	0,84	0,95	1,28	1,13
Kalium [g/kg] ¹⁰⁾	0,54	0,49	n.b.	0,74	0,83	0,84	0,86	0,93
Magnesium [g/kg] ¹⁰⁾	117	130	n.b.	3,08	6,34	7,43	6,86	7,05
Eisen [g/kg] ¹⁰⁾	50	54	n.b.	26	47	43	41	42
Mangan [g/kg] ¹⁰⁾	0,62	0,62	n.b.	0,31	0,57	0,74	0,89	0,76
Eisen [mg/kg] ⁸⁾	437	466	352	427	398	182	77	79
Mangan [mg/kg] ⁸⁾	204	183	417	39	7	10	23	6
Kupfer [mg/kg] ⁸⁾	3,2	3,3	1,6	0,9	0,7	0,6	1,5	1,2
Zink [mg/kg] ⁸⁾	3,1	3,1	25,6	6,2	2,8	0,3	1,4	0,6
Fe-Oxalat [mg/kg]	3051	7667	2895	3053	7633	4930	2715	3780
Mn-Oxalat [mg/kg]	285	273	612	123	504	600	775	577
Al-Oxalat [mg/kg]	698	842	609	645	1255	1158	977	1502
Fe-Dithionit [g/kg]	22,81	23,01	28,72	27,28	50,03	43,25	46,41	41,88
Mn-Dithionit [mg/kg]	389	374	801	344	617	797	1106	934
Al-Dithionit [mg/kg]	1462	13346	1507	942	2579	2393	2374	2838
Fe _d – Fe _o [g/kg]	19,76	15,35	25,82	24,23	42,40	38,32	43,37	38,10
Fe _o /Fe _d	0,13	0,33	0,10	0,11	0,15	0,11	0,06	0,09

Methoden: 1) nach Scheibler, 2) CAL, 3) nach Schachtschabel, ÖNORM L 1093, 4) nach ÖNORM L 1080, 5) N-Gesamt nach Elementaranalyse, ÖNORM L 1095I, 6) Korngrößenaufbereitung und Bestimmung nach ÖNORM L 1061-2, 7) Auswertung nach Texturdreieck der ÖBG, 8) EDTA, ÖNORM L 1089, 9) in Prozent der effektiven Austauschkapazität nach ÖNORM L 1086-1, 10) Gesamtgehalt in Königswasser.

A-02: Boden-, Standorts- und Vegetationsentwicklung auf unterschiedlichen Substraten der subalpinen und montanen Stufe im Wetterstein- und Ammergebirge

Eckart Kolb¹, Axel Göttlein¹, Jörg Ewald²

¹ Waldernährung und Wasserhaushalt, Technische Universität München

² Botanik und Vegetationskunde, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Zusammenfassung

Die Exkursion stellt die Standorts- und Vegetationsvielfalt der Nördlichen Kalkalpen im Werdenfelser Land dar. Unterschiedliche Höhenstufen und geologische Substrate bedingen im Wechselspiel mit den Bodenbildungsprozessen eine bemerkenswerte pflanzliche Biodiversität. WINALP stellt Waldtypen und Substrate im Maßstab 1:25.000 in Form von hierarchiefreien Codes dar. Eine Besonderheit sind mächtige Tangelhumusauflagen, die auf feinerdearmen Substraten den Hauptwurzelraum der Wälder darstellen und besonders empfindlich auf Biomasseentzüge und Klimawandel reagieren. Boden- und ernährungskundliche Aspekte von Schutzwaldpflege und -sanierung werden dargestellt.

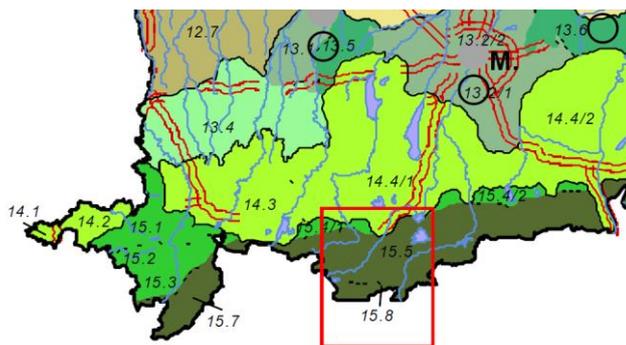


Abbildung 1: Exkursionsgebiet (Kartengrundlage: Wuchsgebietsgliederung von Bayern; Kreutzer & Foerst 1978, überarbeitet Gulder 2001)

Überblick

Nach der Wuchsgebietsgliederung Bayerns (Abb. 1) gehört das Werdenfelser Land zum Wuchsgebiet „15 Bayerische Alpen“. Der nördliche, der Flyschzone angehörende Teil fällt in

den Teilwuchsbezirk „15.4/1 Ammergauer Flyschberge“. Der kalkalpine, südliche Teil ist in etwa durch die Talachse Griesen-Garmisch-Krün gegliedert in den Wuchsbezirk „15.5 Mittlere Bayerische Kalkalpen“ (zusammengesetzt aus Ammergebirge und Estergebirge) und den südlich bis zur Landesgrenze reichenden Wuchsbezirk „15.8 Karwendel und Wettersteinmassiv“.

Geologie

Infolge Faltung und tektonischer Überschiebung weist das Exkursionsgebiet eine große und für die Nordalpen typische Gesteinsvielfalt auf. Ausschließlich im Norden verbreitet sind die Flyschgesteine (Grauwacken, Sandsteine, Mergel, Kieselkalke), die in der Kreidezeit als Tiefseesedimente abgelagert wurden. In den Köcheln des Murnauer Mooses treten kleinflächig Gesteine des Helvetikums zu Tage. Am Nordrand der kalkalpinen Zone ist in einem sehr schmalen Band die Allgäudecke aufgeschlossen. Das eigentliche Exkursionsgebiet (südlich der Linie Laaber-Rötelstein) gehört der Lechtaldecke an, in der carbonatreiche Meeressedimente der Trias vorherrschen. Die Gesteinsverbreitung innerhalb der Lechtaldecke wird wesentlich von Mulden- und Sattelstrukturen bestimmt. So gehört der Bergstock des Ettaler Mannlds zur Stirnrandmulde des bayerischen Synklinoriums (Kuhnert 1963). In ihr ist auf einer Nord-Süd-Distanz von 3 km die gesamte stratigraphische Abfolge vom alttriassischen Wettersteinkalk (Ladin) bis zur kreidezeitlichen Cenoman-Serie aufgeschlossen (Profile A1-4). In den weiter südlich landschaftsprägenden Teilen der Lechtal-Decke

dominieren dagegen die triassischen Schichtglieder; jüngere Gesteinsserien sind hier nur punktuell der Abtragung entgangen. So herrschen in den zum Werdenfelser Land gehörenden Teilen des Ammer- und Estergebirges, die den mittleren Abschnitt des Gebietes ausmachen, Gesteine der jüngeren Trias, insbesondere der Hauptdolomit (Nor) vor. Eine deutlich abgrenzbare Struktur innerhalb dieses Dolomitgebietes ist die Lahnerwies- und Krottenkopf-Mulde auf der Höhe von Farchant, in der Plattenkalk (Nor) und Kössener Schichten (Rät) auf größeren Flächen aufgeschlossen sind. Der die Hänge südlich von Garmisch aufbauende Wamberger Sattel enthält Aufschlüsse des Alpenen Muschelkalks (Anis) und zeichnet sich durch die dunklen Tonsteine der Partnachschiefer (Beckenfazies des Ladin) aus. Südlich davon, in der Ferchenbach-Mulde, (s. Profile W1-7) wechseln Wettersteinkalk (Schwellenfazies des Ladin), Raibler Schichten (Karn, vorherrschend als dolomitisierte Rauhacker) und Hauptdolomit (Nor).

Die reichhaltige Stratigraphie bedingt eine entsprechende Vielfalt der Böden und der edaphischen Standortbedingungen. Unter diesem Gesichtspunkt klassifizierte Kolb (2012) die Substrattypen und stellte sie in einer interaktiven Karte dar, die online unter arcgisserver.hswt.de/winalp zugänglich ist.

Aus den durch Deckenüberschiebungen und Verwerfungen vorgegebenen Strukturen modellierte die Erosion das heutige Hochgebirgsrelief mit seinen Graten, Karen und glazial übertieften Tälern heraus. Am intensivsten waren diese Formungsprozesse während der Eiszeiten, in denen das Gebiets weitgehend vergletschert war bzw. periglazialen Bedingungen unterlag. Die zentralen Talräume waren von Ferneisströmen erfüllt, die lokal Seitenmoränen mit zentralalpinen Erratika (Gneise, Glimmerschiefer) hinterließen. In diese mündeten die lokalen Gletscher. Lediglich die nördlichen Flyschberge blieben eisfrei (van Husen 1987) und waren somit Stillstandsstadien während des Eisrückzugs hinterließen einige Lokalmoränen, deren Gesteinsbestand die jewei-

ligen Liefergebiete widerspiegelt. Periglazial wurden die Hänge durch z. T. mächtige Schuttdecken eingehüllt. Rezente Erosion und Akkumulation bleiben im Wesentlichen auf Wildbachgerinne, Schuttkegel und Umlagerungsstrecken in Talböden beschränkt. In ebenen, vernässten Lagen wuchsen Moore auf. Am Eibsee ereignete sich vor ca. 14 000 Jahren der größte Bergsturz der Bayerischen Alpen.

Die Höhenunterschiede zwischen dem Loisachtal und den benachbarten Gipfeln nehmen von Norden nach Süden zu: Sie betragen zwischen Murnauer Moos (630 m) und Hörnle (1548 m) 900 m, im Bereich der Exkursion am 2. Tag zwischen Oberau (659 m) und Ettaler Manndl (1631 m) knapp 1000 m, zwischen Farchant (671 m) und Krottenkopf (2086 m) 1400 m und im Bereich der Exkursion am 1. Tag zwischen Garmisch (707 m) und Zugspitze (2962 m) 2200 m. Die felsarme Flyschzone weist mit mäßigen Hanglängen und gerundeten Gipfeln ein mittelgebirgsartiges Relief auf, in dem jedoch steile und rutschgefährdete Hänge dominieren (Bayer. StmELF 1989a,b,c). Ettaler Manndl, Estergebirge und Ammergebirge (2. Tag) bilden eine typische Voralpenlandschaft, in der bereits offene Felsbildungen und Schuttströme auf bedeutender Fläche vorkommen und wo Lawinen, Gleitschnee und Steinschlag verbreitete Hangstabilitätsformen darstellen. Am ausgeprägtesten ist der Hochgebirgscharakter im Wettersteingebirge (1. Tag.), in dem große Flächen oberhalb der Waldgrenze von Fels und aktiven Schutthalden geprägt sind. Aus den Reliefverhältnissen folgt ein von Norden nach Süden zunehmender Anteil der Schutzwälder, die insbesondere an den Hängen des dicht besiedelten und von Hauptverkehrsadern durchzogenen Loisachtals unverzichtbare Objektschutzfunktionen erfüllen.

Bodentypen im Überblick

Vier Besonderheiten zeichnen die Böden der Nördlichen Kalkalpen aus:

1. Aufgrund des Vorherrschens carbonatischer Ausgangsgesteine sind viele Böden

bis in den Oberboden hinein carbonathaltig oder zumindest sehr hoch basengesättigt.

2. Aufgrund der hohen Niederschläge sind schon bei Böden mit nur geringfügig verzögerter Sickerwasserbewegung (bindige Böden) bereits in hängiger Lage Hydromorphiemerkmale zu beobachten.
3. Aufgrund des ausgeprägten Reliefs und starker Erosionsneigung sind junge, flachgründige und skelettreiche Böden häufig.
4. Aufgrund des kühlfeuchten Klimas sind die Böden sehr humusreich.

Fels-/Skelett-Humusböden, Syroseme aus Kalkstein, Rendzinen und Terrae fuscae sind auf dem Ausgangssubstrat Kalk vergesellschaftet. Pelosole, Hanggleye und –pseudogleye finden sich auf Mergeln. Auf den vereinzelt eingestreuten carbonatarmen oder –freien Ausgangssubstraten entwickeln sich Fels-/Skelett-Humusböden, Syroseme, Ranker, Braunerden und Podsole. Moore sind im eigentlichen Hochgebirge auf Verebnungen mit wasserstauendem Untergrund (Mergel, Tone) beschränkt. In der Umgebung von quelligen Wasseraustritten kommt es hingegen häufiger zur Bildung von Gleyen und Kalkflachmooren.

Standortverhältnisse und potentielle natürliche Vegetation werden nach Reger & Ewald (2011) in einer interaktiven Waldtypenkarte (mit den Kriterien Hauptbaumarten, Höhenstufe, Basenhaushalt, Wasserhaushalt) dargestellt, die unter arcgisserver.hswt.de/winalp online zugänglich ist.

1. Tag – Wettersteingebirge

Karte: TK 8532/8632 Garmisch-Partenkirchen

Wuchsbezirk: 15.8 Karwendel und Wettersteinmassiv

Höhenstufen: subalpin (Kreuzeck, 1652 m) bis alpin (unterhalb Bernadeinwand, 1880 m)

Klima:

	Garmisch	Kreuzeck	Zugspitze
Höhe (m ü. NN)	719	1650	2960
Niederschlag (mm/a)	1364	1595	2004
Temperatur (°C)			
Januar	-3,2	-5,6	-11,3
Juli	15,5	10,5	2,0
Jahr	6,3	2,3	-4,8

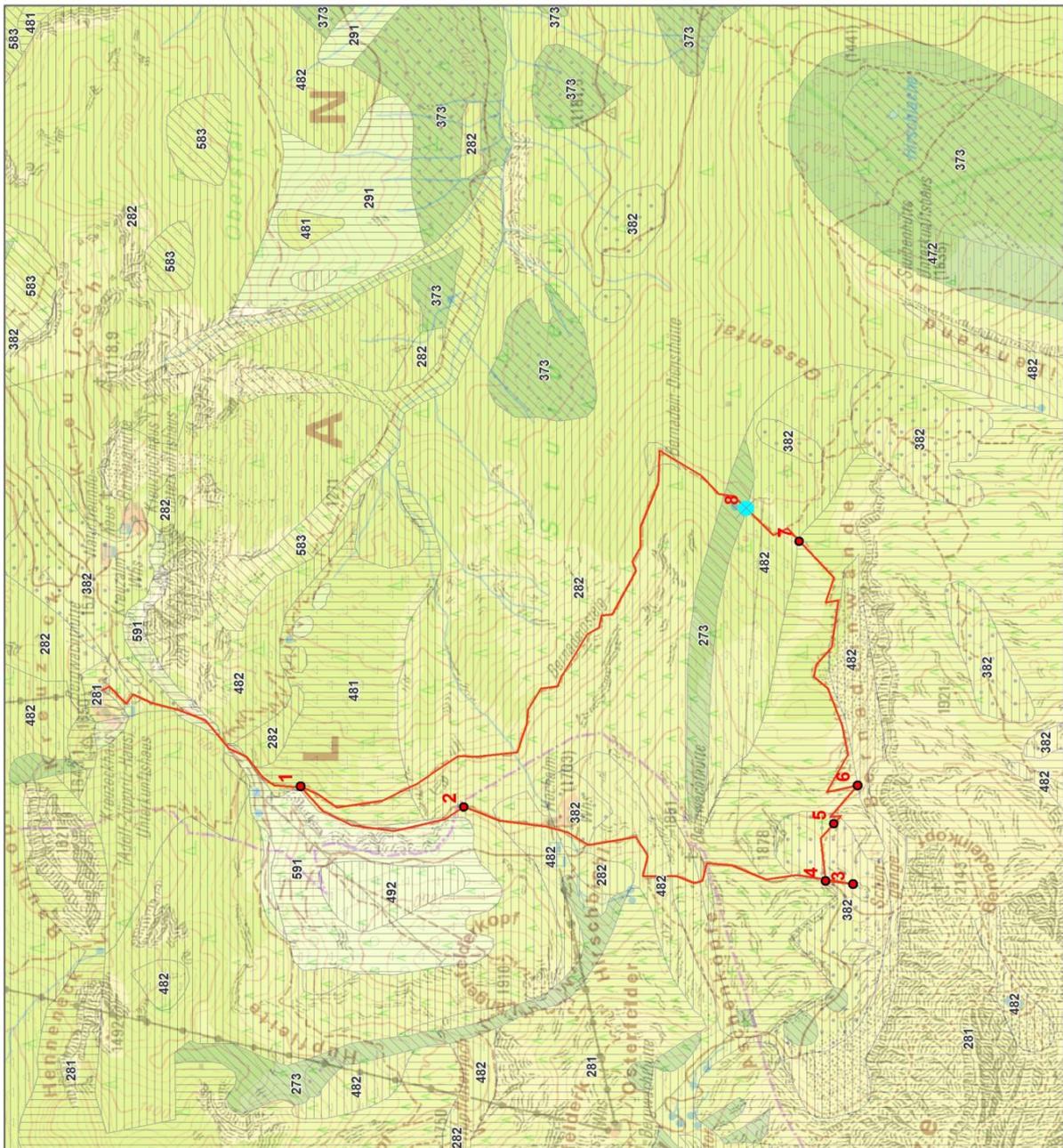
Geologie: aufgearbeitete triassische Kalke, Dolomite und Mergel (Ladin, Karn) in Form von Block-, Schutt- und Moränenmaterial. Große Wettersteinmulde der Lechtaldecke mit Reliefumkehr; Deckenüberschiebung der Inntaldecke; Tendenz zur Verkarstung

Vegetation: Mosaik mit subalpinen Fichtenwäldern, Krummholzgebüsch, Schuttfluren und alpinen Rasen; neben substratbedingten Standortsunterschieden bestimmen unterschiedliche Sukzessionsstadien Artenzusammensetzung und Produktivität

Die Exkursion im Wettersteingebirge verläuft in der subalpinen Stufe, jenem Ökoton, welches mit einem Mosaik von Wäldern, Gebüsch und Rasen zwischen der bewaldeten montanen und der unbewaldeten alpinen Stufe vermittelt. Die Standortbedingungen wechseln kleinräumiger als in der montanen Stufe, da ein die Witterungsextreme milderndes Kronendach oder zumindest der dichte Kronenschluss fehlt. Ausgangssubstrate sind aufgearbeitete Kalke, Dolomite und Mergel in Form von Block-, Schutt- und Moränenmaterial. Die Exkursionspunkte wurden so ausgewählt, dass das Nebeneinander von Standorten eine potentielle Sukzession darstellt. So stellen die Punkte W4 und W7 eine Entwicklungsreihe auf Groblockmaterial, W3, W5, W6 und W8 eine Sukzession auf stärker aufbereiteten Ausgangssubstraten wie Schutthalden und Moränen dar.

Karte der Gesteins-eigenschaften

- Magmatie/Metamorphite**
 - 132 - basisch - intermed. Kristallingest.
- Feste Sedimente**
 - 211 - nährstoffarme Hartsandsteine
 - 212 - nährstoffarme Sandsteine
 - 221 - intermediäre Hartsandsteine
 - 222 - intermediäre Sandsteine
 - 243 - Tongesteine
 - 253 - Tonmergel
 - 261 - Kieselkalke
 - 262 - Sandmergel
 - 263 - rasch verwitternde Sandmergel
 - 271 - kalkig-mergelige Konglomerate
 - 272 - Mergelgesteine
 - 273 - rasch verwitternde Mergelgesteine
 - 281 - Hartkalke, z.T. konglomeratisch
 - 282 - Kalke, z.T. konglomeratisch
 - 291 - Hartdolomite
 - 292 - Dolomite
- Glaziale Lockersedimente**
 - 373 - mergelige Ferrimoränen
 - 382 - kalkige Lokalmoränen
- Gravitative Lockersedimente**
 - 472 - sandig bis mergelige Hangschutten
 - 481 - kalkige Blockstürze
 - 482 - kalkige Hangschutten
 - 492 - dolomitische Hangschutten
- Gravitiv-fluviatile Lockersedimente**
 - 573 - mergelige Bachschuttkegel
 - 583 - kalkige Bachschuttkegel
 - 591 - dolomitische Hart-Brekizien
 - 593 - dolomitische Bachschuttkegel
- Fluviatile Lockersedimente**
 - 672 - kalkig-mergelige Flussschotter
 - 673 - kalkig-mergelige Flusssande
- Limnische Lockersedimente**
 - 753 - Seetone und Seekreiden
- Organische Lockersedimente**
 - 903 - Moore
- Sonstiges**
 - 0 - Gewässer, Gletscher u.a.



Die Karte der Gesteinseigenschaften basiert auf geologischen Karten und Manuskriptdaten des Landesamtes für Umwelt (L.U.).
 Das Projekt »Waldmattersystem Nordalpen (WINALP)« wird aus dem EFRE-Programm für Europäische Territoriale Zusammenarbeit von der EU, den Finanzverwaltungen von Bayern, Tirol und Salzburg und den Bayerischen Staatsforsten gefördert.

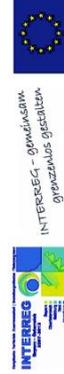


Abbildung: Karte der Gesteinseigenschaften nach Kolb (2012); arcgisserver.hswt.de/winalp

Profil	Horizont	Tiefe	C _{org} [%]	N _t [%]	C/N	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	pH (KCl)
W3	Ai	2-20			38	7,9	7,4	7,3
W4	Oh1	+40-50	49,4	1,6	30	4,9	4,3	4,3
	Oh2	+20-40	49,1	1,8	28	5,2	4,6	4,5
	Ovh	+0-20	46,7	1,8	26	6,1	5,5	5,4
W5	Oh	+10-0	32,8	2,5	13	7,4	7,1	6,9
W6	Ah (Oh)	0-15			15	6,9	6,8	
	Ah-clC	15-20	12,3	0,1	8	7,6	8,0	
W7	Oh	+20-0	50,7	2,3	22	4,0	3,2	3,1
W8	Ah	0-15	13,7	0,9	15			
	T-Bv	15-20	5,2	0,5	8	7,1	6,8	
	rAh	20-27	9,2	0,7	13	7,3	7,2	6,8
	rT	27-35	6,9	0,5	8	7,3		

Tabelle: Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte und pH-Werte im Feinboden der Profile im Wettersteingebirge

Profil	Horizont	Tiefe	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	H	KAK	BS (%)
W3	Ai	2-20	497	8,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0	508	99,9
W4	Oh1	+40-50	544	76,4	5,9	0,2	0,7	0,0	0,3	1,1	628	99,7
	Oh2	+20-40	783	60,2	2,7	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	847	99,9
	Ovh	+0-20	1082	40,2	1,5	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	1124	100
W5	Oh	+10-0	547	43,0	22,4	2,2	0,9	0,0	3,7	0,0	619	99,3
W6	Oh	+10-0	887	33,1	2,2	0,2	0,2	0,0	0,4	0,0	923	100
	Ah (Oh)	0-15	686	56,4	6,9	0,5	0,2	0,0	1,4	0,0	751	99,8
	Ah-clC	15-20	177	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	180	99,9
W7	Oh	+20-0	365	28,2	8,8	1,0	5,3	1,0	0,2	35,7	445	90,5
W8	Ah	0-15										
	T-Bv	15-20	402	3,9	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	407	100
	rAh	20-27	460	5,1	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	466	100
	rT	27-35	395	4,2	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	401	100

Tabelle: Kationenaustauschkapazität (NH₄Cl) im Feinboden der Profile im Wettersteingebirge (µmol IE kg⁻¹)

Profil	Horizont	Tiefe	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	Zn	P	S
W3	Ai	2-20	284,9	36,3	0,8	0,1	4,3	5,2	0,2	0,1	0,5	2,5
W4	Oh1	+40-50	20,9	2,2	0,6	0,1	2,6	2,3	0,0	0,1	0,6	1,9
	Oh2	+20-40	30,8	1,1	0,4	0,1	3,3	2,7	0,0	0,0	0,5	2,0
	Ovh	+0-20	56,0	0,9	0,4	0,1	4,4	3,2	0,0	0,1	0,7	2,4
W5	Oh	+10-0	21,1	2,3	2,2	0,2	9,1	9,3	0,6	0,3	1,1	3,2
W6	Oh	+10-0	49,4	4,4	2,4	0,2	19,6	16,6	0,9	0,3	2,1	3,9
	Ah (Oh)	0-15	95,0	15,9	2,8	0,2	16,2	13,2	0,7	0,3	1,3	3,4
	Ah-clC	15-20	341,2	16,4	0,3	0,1	1,4	1,0	0,1	0,0	0,1	2,4
W7	Oh	+20-0	9,7	0,5	0,6	0,1	2,2	2,0	0,0	0,1	0,7	2,7
W8	Ah	0-15	16,8	5,9	4,2	0,2	40,7	38,2	1,7	0,5	0,9	1,2
	T-Bv	15-20	18,9	7,8	4,9	0,2	53,3	51,0	2,0	0,6	0,8	0,7
	rAh	20-27	28,4	6,7	4,4	0,2	45,0	42,0	1,8	0,6	1,0	1,1
	rT	27-35	45,3	7,1	5,2	0,3	44,8	42,3	1,8	0,5	1,0	1,0

Tabelle: Elementgehalte im Königswasseraufschluss (mg/g) im Feinboden der Profile im Wettersteingebirge

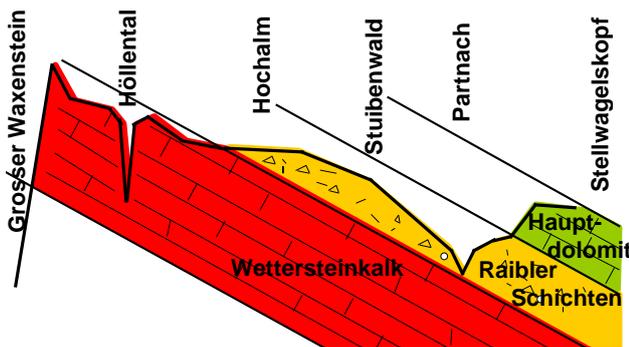


Abbildung: Längsschnitt der Wettersteinmulde

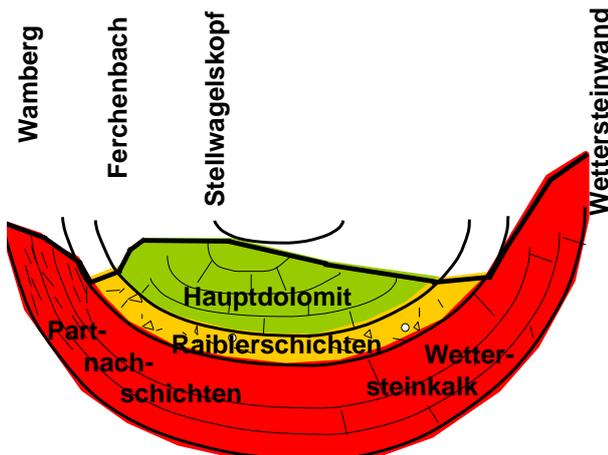


Abbildung: Querschnitt der Wettersteinmulde

W1-2 Aussicht von Punkt 1638 m und Punkt 1695 m

Geotektonik und Gesteine des Wettersteingebirges; Höhenstufen am Beispiel des Stuibenwaldes am Nordabhang des Blassengrates.

W3 Schutthalde aus Wettersteinkalk - Alpine Schuttflur auf Lockersyrosem aus Kalksteinschutt (Thlaspietum rotundifolii)

Meereshöhe	1880 m (hochsubalpine Stufe)
Exposition	NO
Hangneigung	25°
Relief	konkaver Hang
Ausgangsgestein	Wettersteinkalk-Hangschutt (Substrattyp 481)
Bodentyp	Lockersyrosem aus Kalkstein bis Lockersyrosem-Rendzina
Humusform	initiale bis kalkmull-ähnliche Humusbildungen
Horizontfolge	cxC/Ai/clC bis cxC/Aih/clC
Aufnahmedatum	25.6.2001

Vegetation (Kennarten)	<i>Hutchinsia alpina</i> , <i>Silene vulgaris</i> ssp. <i>glareosa</i> , <i>Linaria alpina</i> , <i>Arabis alpina</i> , <i>Rumex scutatus</i>
------------------------	---

W4: (Tangel)Felshumusboden mit Latschengebüsch (*Rhododendro hirsuti* – *Pinetum mughi sphagnetosum*)

Meereshöhe	1850 m (hochsubalpine Stufe)
Relief	Kuppe, ausgeprägtes Kleinrelief
Ausgangsgestein	anstehende Raiblerkalke (Substrattyp 282)
Bodentyp	(Tangel-)Felshumusboden
Humusform	Tangelhumus
Horizontfolge	L/Of/Oh1/Oh2/Ovh/(T)/mC
Aufnahmedatum	25.6.2001
Vegetation (Kenn- und Trennarten)	<i>Pinus mugo</i> , <i>Rhododendron hirsutum</i> , <i>Rosa pendulina</i> , <i>Sorbus chamaemespilus</i> , <i>Rhododendron x intermedium</i> , <i>Rhododendron ferrugineum</i> , <i>Juniperus sibirica</i> , <i>Gentiana pannonica</i> , <i>Sphagnum</i> sp.
Waldtyp (WINALP):	Lat513s – schattseitiges Carbonat-Latschengebüsch

W5: Lockersyrosem-Rendzina auf grobblockigem Wettersteinkalkschutt mit Polsterseggenrasen (*Caricetum firmae*)

Meereshöhe	1820 m (hochsubalpine Stufe)
Exposition	NNO
Hangneigung	30°
Relief	Übergang von konvexem zu konkavem Hang
Ausgangsgestein	Wettersteinkalk-Hangschutt (Substrattyp 481)
Bodentyp	Skeletthumusboden bis (Pechmoder--)Rendzina
Humusform	Moder („Pechhumus“)
Horizontfolge	Oh/clC bis IC/Aih/clC
Aufnahmedatum	25.6.2001
Vegetation (Kennarten)	<i>Carex firma</i> , <i>Saxifraga caesia</i> , <i>Festuca quadriflora</i> , <i>Ranunculus alpestris</i> , <i>Gentiana clusii</i> , <i>Pedicularis rostrato-capitata</i> , <i>Dryas octopetala</i>

W6: (Mull-)Rendzina auf grusigem Wettersteinkalkschutt mit Blaugras-Horstseggenrasen (Seslerio-Caricetum sempervirentis)

Meereshöhe	1700 m (hochsubalpine Stufe)
Exposition	NO
Hangneigung	35°
Relief	gestreckter Hang
Ausgangsgestein	Wettersteinkalk-Hangschutt
Bodentyp	Rendzina
Humusform	Mull
Horizontfolge	Ah/Ah-IC/cC
Aufnahmedatum	25.6.2001
Vegetation (Kenn- und Trennarten)	Carex sempervirens, Sesleria albicans, Anthyllis alpestris, Scabiosa lucida, Globularia nudicaulis, Biscutella laevigata, Phyteuma orbiculare, Heliathemum grandiflorum, Bartsia alpina, Carduus defloratus

W7: Skeletthumusboden auf Wettersteinkalkblöcken mit Carbonat-Block-Fichtenwald (Adenostylo glabrae-Piceetum lycopodietosum)

Meereshöhe	1520 m (tiefsubalpine Stufe)
Exposition	ONO
Hangneigung	-
Relief	Blockanhäufung in Mulde, ausgeprägtes Kleinrelief
Ausgangsgestein	Wettersteinkalk- oder Raiblerkalk-Blockhalde (Substrattyp)
Bodentyp	Karbonat-Felshumus bis -Skeletthumusboden
Humusform	Moder- (bis Tangel)-humus
Horizontfolge	L/Of/Oh/cmC bis L/Of/Oh/cxC+Oh/clC
Aufnahmedatum	25.6.2001
Vegetation (Kennarten)	<i>Picea abies</i> , <i>Pinus cembra</i> , <i>Pinus mugo</i> , <i>Cystopteris montana</i> , <i>Cystopteris regia</i> , <i>Lonicera nigra</i> , <i>Clematis alpina</i> , <i>Calamagrostis villosa</i> , <i>Luzula luzulina</i> , <i>Sphagnum quinquefarium</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Vaccinium vitis-idaea</i> , <i>Lycopodium</i>

annotinum, *Moneses uniflora*, *Orthilia secunda*, *Melampyrum sylvaticum*, *Huperzia selago*
Fi423s – Komplex der subalpinen Karstplateaus

Waldtyp

W8: Rendzina und Skeletthumusboden mit tiefsubalpinem Carbonat-Fichtenwald (Adenostylo glabrae-Piceetum caricetosum ferruginei)

Meereshöhe	1520 m (tiefsubalpine Stufe)
Exposition	OSO
Hangneigung	30°
Relief	gestreckter Hang, leicht kupiert
Ausgangsgestein	Moräne über Raiblerkalken
Bodentyp	Rendzina und Felshumusboden stellenweise über Terra fusca
Humusform	F-Mull und Moder (Tangel)
Horizontfolge	L/Of/Ah/Ah-IC,T-Bv/rAh/rT/cC und L/Of/Oh/emC
Aufnahmedatum	25.6.2001
Vegetation (Kennarten)	<i>Picea abies</i> , <i>Carex ferruginea</i> , <i>Gentiana asclepiadea</i> , <i>Homogyne alpina</i> , <i>Luzula luzulina</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Aposeris foetida</i> , <i>Mercurialis perennis</i>
Waldtyp	Fi413 – subalpiner, mäßig frischer Carbonat-Fichtenwald

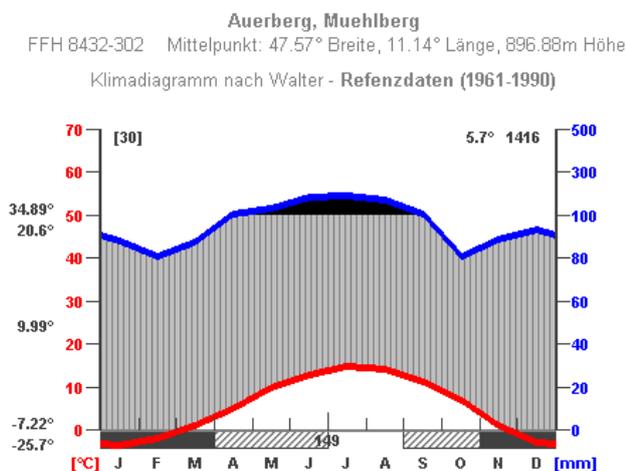
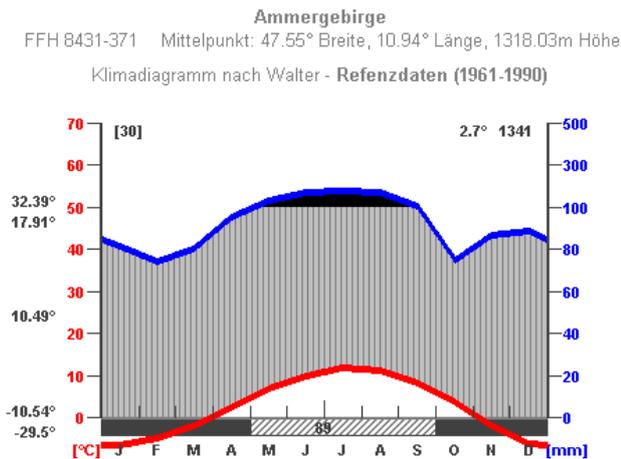
2. Tag – Ammergebirge im Bereich des Ettaler Manndls

Karte: TK 8432 Oberammergau

Wuchsbezirk: 15.5 Mittlere Bayerische Kalkalpen

Höhenstufen: tiefsubalpin (Laber, 1682 m), hochmontan, montan (Ettaler Sattel, 890 m)

Klima: (Klimadaten und Szenarien für Schutzgebiete, pik-potsdam.de)



Geologie: Kalkalpine Randzone, geologische Mulde der Lechtaldecke mit Reliefumkehr (großer Muldenzug) mit enger Abfolge unterschiedlicher Gesteine (Trias bis Kreide), im Süden großflächig Hauptdolomit

Vegetation: naturnahe, laubholzreiche Bergmischwälder mit stark wechselndem Basen- und Wasserhaushalt und Produktivität; im

Süden Schutzwaldsanierungsgebiet auf Carbonat-Felshängen

Das Exkursionsgebiet befindet sich am Ettaler Manndl (1633 m), einem östlichen Auslieger des Ammergebirges. Es gehört nach der Forstlichen Wuchsgebietsgliederung zum Wuchsbezirk „15.5 Mittlere Bayerische Kalkalpen“, nach der Gliederung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt zur Haupteinheit „022 Ammergebirge“. Die Wanderung beginnt an der Bergstation (1682 m) der historisch interessanten Laber-Bahn, die bereits in den 1950er Jahren erbaut, die letzte noch verkehrende Großkabinen-Zweiseil-Umlaufbahn weltweit ist. Nach einer Erläuterung des Panoramas mit Ausblicken ins Estergebirge, Wettersteingebirge und Ammergebirge steigen wir durch die von Almweiden, Felsen und Fichtenwäldern geprägte subalpine Stufe ab zur Tiefental-Alm und queren in den zum Forstbetrieb Oberammergau der Bayerischen Staatsforsten A.ö.R. gehörenden Distrikt Höllenstein. In der montanen Stufe am Nordabfall des Ettaler Manndls (1360 m) durchwandern wir die geologische Mulde der Lechtaldecke nach Süden bis zum Kleinen Laber (1170 m) und besichtigen auf dem Weg vier aus unterschiedlichen Substraten entstandene Bodenprofile. Der Abstieg führt über den Mühlberg durch ein steiles Schrofengelände zum Ettaler Sattel (890 m), wo zum Schutz der Bundesstraße 23 bereits in den 1970er Jahren mit der Schutzwaldsanierung begonnen wurde.

Das Exkursionsgebiet liegt im Bereich der kalkalpinen Randzone (Lechtaldecke). Das Schichtenpaket aus Trias, Jura und Kreide ist im Exkursionsgebiet intensiv zu einer Muldenstruktur verfaltet. Die Route führt, die Mulde von Nord nach Süd querend, aus dem Oberrhät- bzw. Thecosmilien-Kalk über Lias-Kieselschichten (Jura) bis zum Cenoman-Sandstein (Kreide), und von dort wieder in die älteren Gesteine des Lias-Fleckenmergel, Kössener Schichten (Rhät), Plattenkalk und Hauptdolomit (Nor).

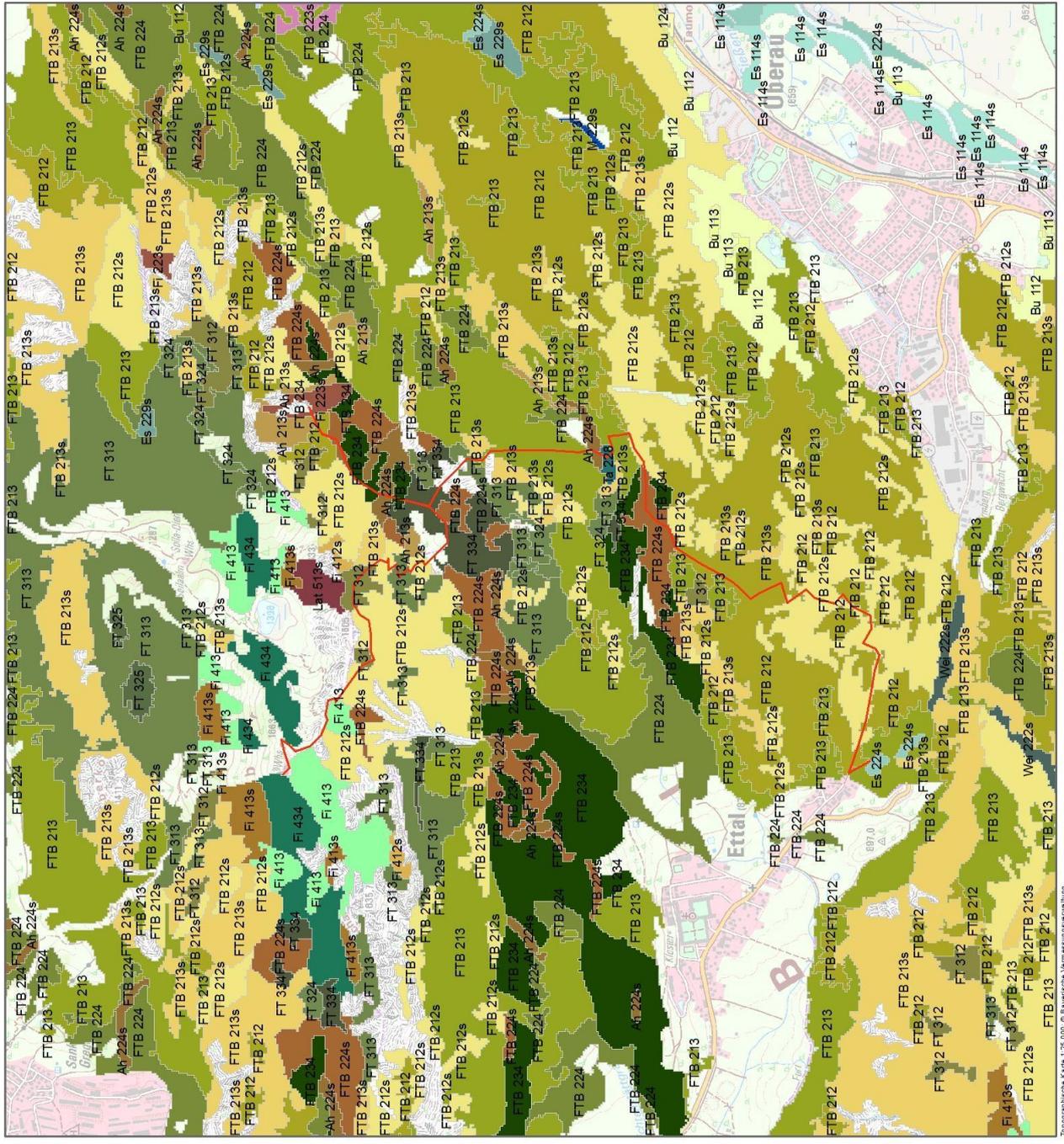


Karte der Waldtypen

- Submontane, buchenreiche Bergmischwälder**
 - Bu 112 - submontaner, mäßig trockener Carbonat-Bergmischwald
 - Bu 113 - submontaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald
 - Bu 124 - submontaner, frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - Bu 125 - submontaner, betont frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - Bu 134 - submontaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
- Edeleichenwälder**
 - Ah 213s - Schutthang-Edeleichenwald
 - Ah 224s - Komplex der steilen, feinerdeichen Einträge und Schluchten
- Au- und Sumpfwälder**
 - Es 128 - submontaner Erlen-Eschenwald
 - Es 114s - Komplex der submontanen Auwälder
 - Es 224s - Komplex der montanen bis hochmontanen Auwälder
 - Es 228s - Grauerlen-Sumpfwald
 - Wei 222s - Komplex der Wildsträucher
- Montane Bergmischwälder**
 - FTB 212 - montaner, mäßig trockener Carbonat-Bergmischwald
 - FTB 213 - montaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald
 - FTB 224 - montaner, frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - FTB 225 - montaner, betont frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - FTB 234 - montaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FTB 212s - montaner, mäßig trockener Carbonat-Bergmischwald
 - FTB 213s - montaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FTB 212s - montaner, mäßig trockener Carbonat-Bergmischwald
 - FTB 213s - montaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FTB 224s - montaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FTB 225s - montaner, betont frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FTB 234s - montaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
- Tannenwälder**
 - Ta 228 - feuchter, basenreicher Tannen-Fichtenwald
 - Ta 238 - feuchter, stark saurer Tannen-Fichtenwald
- Hochmontane Bergmischwälder**
 - FT 310 - hochmontaner, mäßig trockener Carbonat-Bergmischwald
 - FT 312 - hochmontaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald
 - FT 324 - hochmontaner, frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - FT 325 - hochmontaner, betont frischer, basenreicher Silikat-Bergmischwald
 - FT 334 - hochmontaner, frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
 - FT 335 - hochmontaner, betont frischer, stark saurer Silikat-Bergmischwald
- Fichtenwälder**
 - Fi 413 - subalpiner, mäßig frischer Carbonat-Fichtenwald
 - Fi 424 - subalpiner, frischer, basenreicher Silikat-Fichtenwald
 - Fi 425 - subalpiner, betont frischer, basenreicher Silikat-Fichtenwald
 - Fi 430 - subalpiner, frischer, stark saurer Silikat-Fichtenwald
 - Fi 435 - subalpiner, betont frischer, stark saurer Silikat-Fichtenwald
 - Fi 438 - subalpiner, feuchter Fichtenwald
 - Fi 439 - subalpiner, feuchter Fichtenwald
 - Fi 223s - Block-Fichtenwald
 - Fi 424s - subalpiner Block-Fichtenwald
 - Fi 412s - Komplex der subalpinen, sonstigen Felsengehänge
 - Fi 413s - Komplex der subalpinen, schattseitigen Felsengehänge
 - Fi 423s - Komplex der subalpinen Karstplateaus
- Zirbenwälder**
 - Zir 512s - hochsubalpiner Lärchen-Zirbenwald
- Latschenbüsche**
 - Lat 512s - sonstiges Carbonat-Latschengebüsch
 - Lat 513s - schattseitiges Carbonat-Latschengebüsch
 - Lat 524s - Silikat-Grünerlen- und Latschengebüsch
- Kiefernwälder**
 - Kie 212s - Carbonat-Trockenkiefernwald
- Moore**
 - M 228s - Komplex der Niedermoore
 - M 238s - Komplex der Hochmoore

Die Karte der GEB ist einseitig basierend auf geologischen Karten und Manuskripten des Landesamtes für Umwelt (LUL).

Das Projekt Waldschutzmaßnahmen Nordbayern (WINALP) wird aus dem EFRE-Programm für Europäische Territoriale Zusammenarbeit von der EU, den Fördervereinigungen von Bayern, Tiro und Salzburg und der Bayerischen Staatsforsten gefördert.



Topographische Karte 1:25.000 © Bayerische Vermessungsverwaltung

Abbildung: Ausschnitt aus der Waldtypenkarte (Reger & Ewald 2011); arcgisserver.hswt.de/winalp

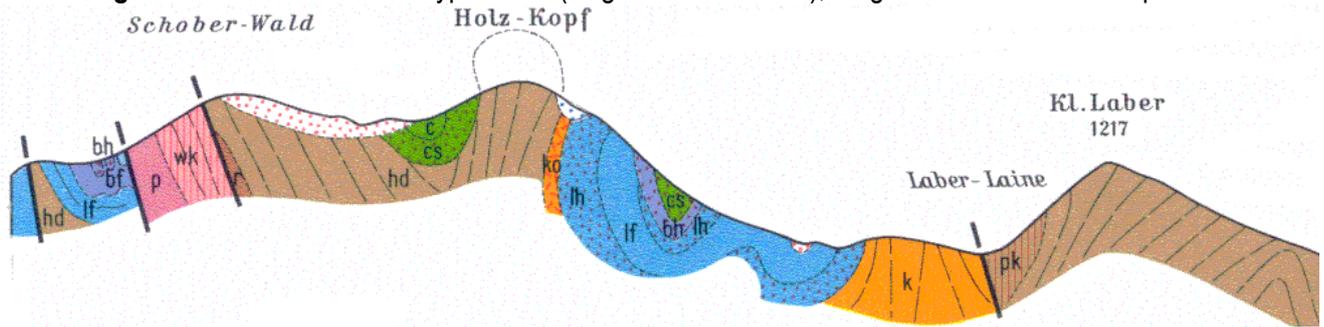


Abbildung: Geologisches Profil (Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Bayerisches Geologisches Landesamt 1967)

A1: Felshumusboden aus Bergsturzmaterial des Oberrätkalks mit Carbonat-Block-Fichtenwald (Asplenio-Piceetum)

Meereshöhe	1360 m (hochmontan)
Exposition	SSE
Hangneigung	Eben
Relief	Bergsturz
Ausgangsgestein	Oberrätkalk (Substrattyp 481)
Bodentyp	Felshumusboden
Humusform	Tangel
Horizontfolge	L/Of/Oh1/Oh2/Ovh/mcC
Aufnahmedatum	26.06.01
Vegetation (Kennarten)	<i>Picea abies</i> , <i>Sorbus aucuparia</i> , <i>Sorbus aria</i> , <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Luzula sylvatica ssp. sieberi</i> , <i>Listera cordata</i> , <i>Homogyne alpina</i> , <i>Huperzia selago</i> , <i>Luzula luzulina</i> , <i>Adenostyles glabra</i> , <i>Valeriana tripteris</i> , <i>Campanula cochlearifolia</i> , <i>Asplenium viride</i> , <i>Polystichum lonchitis</i> , <i>Carex brachystachys</i> , <i>Primula auricula</i> , <i>Mylia taylorii</i> , <i>Bazzania trilobata</i> , <i>Bazzania tricrenata</i> , <i>Barbilophozia lycopodioides</i> , <i>Sphagnum capillifolium</i> , <i>Peltigera leucophlebia</i>
Waldtyp	Fi 223s - Block-Fichtenwald

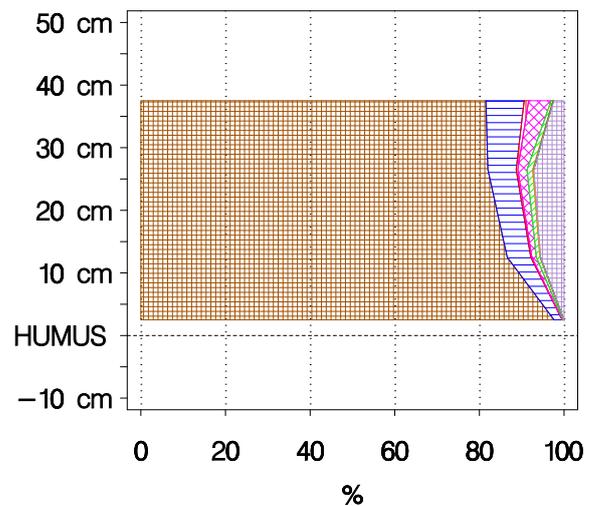


Abbildung: Austauschbelegung (NH₄Cl-Extrakt)

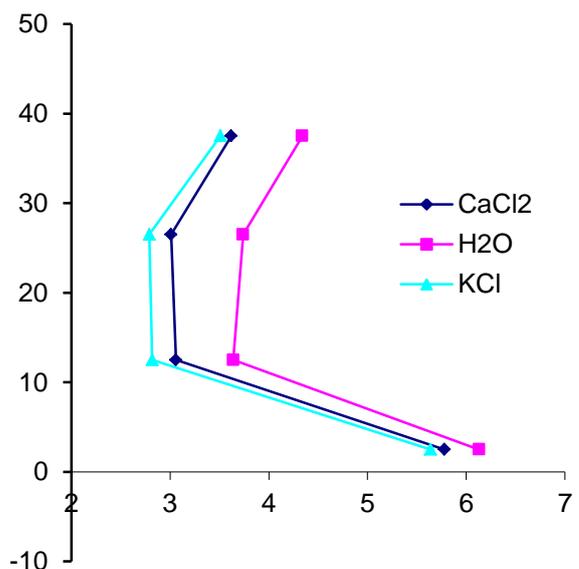


Abbildung: pH-Werte in den Auflagehorizonten

A2: Braunerde-Rendzina aus Kalkschutt mit Schutthang-Edellaubwald (Ulmo-Aceretum)

Meereshöhe	1350 m (hochmontan)
Exposition	SE
Hangneigung	30°
Relief	Schutthalde
Ausgangsgestein	Rhätalk-Blockschutt (Substrattyp 481)
Bodentyp	Braunerde-Rendzina
Humusform	Typischer Mull
Horizontfolge	L/Ah1/Ah2/Bv-Cv1/Bv-Cv2
Aufnahmedatum	26.06.01
Vegetation	<i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Ulmus glabra</i> (†), <i>Urtica dioica</i> , <i>Campanula latifolia</i> , <i>Phyllitis scolopendrium</i> , <i>Aconitum vulparia</i> , <i>Chaerophyllum hirsutum</i> , <i>Stellaria nemorum</i> , <i>Carduus personata</i> , <i>Aconitum napellus</i> , <i>Rumex alpestris</i> , <i>Poa hybrida</i>
Waldtyp	Ah213s – Schutthang-Edellaubmischwald

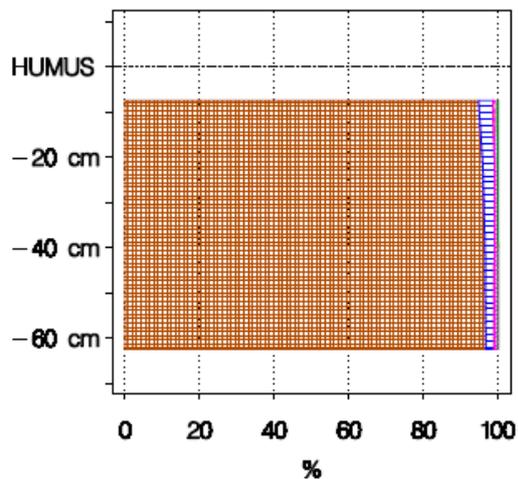


Abbildung: Austauschbelegung (NH₄Cl-Extrakt)

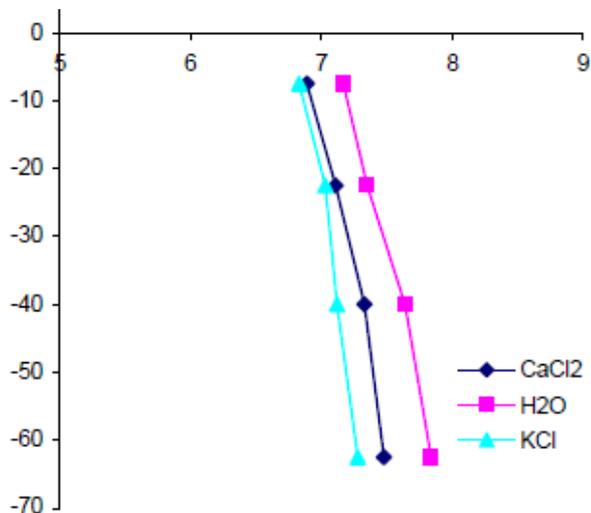


Abbildung: pH-Werte im Mineralboden

A3: Eisen-Humus-Podsol aus Lias-Kieselkalk mit Bodensaurem Bergmischwald (Luzulo-Fagetum)

Meereshöhe	1350 m (montane Stufe)
Exposition	SSE
Hangneigung	34°
Relief	Oberhang
Ausgangsgestein	Lias-Kieselkalk (Substrattyp 261)
Bodentyp	Eisen-Humus-Podsol
Humusform	feinhumusreicher, rohhumusartiger Moder
Horizontfolge	L/Of/Oh1/Oh2/Ahe/Ae/Bsh/Bsv/Cv-Bv/ICn
Aufnahmedatum	11.06.98
Vegetation (Kennarten)	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i> , <i>Luzula sylvatica</i> ssp. <i>sieberi</i> , <i>Thelypteris limbosperma</i> , <i>Blechnum spicant</i> , <i>Gymnocarpium dryopteris</i> , <i>Thelypteris phegopteris</i> , <i>Dryopteris dilatata</i> , <i>Stellaria nemorum</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Dicranella heteromalla</i> , <i>Dicranodontium denudatum</i> , <i>Rhytidiadelphus loreus</i>
Waldtyp	FTB234 – montaner, frischer, stark saurer Bergmischwald

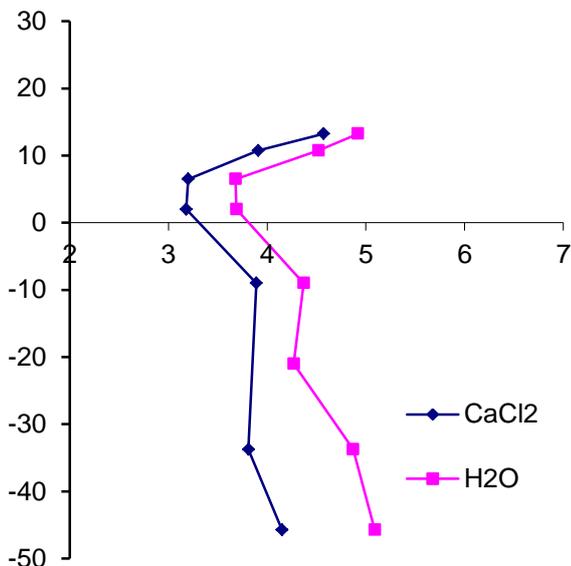


Abbildung: pH-Werte

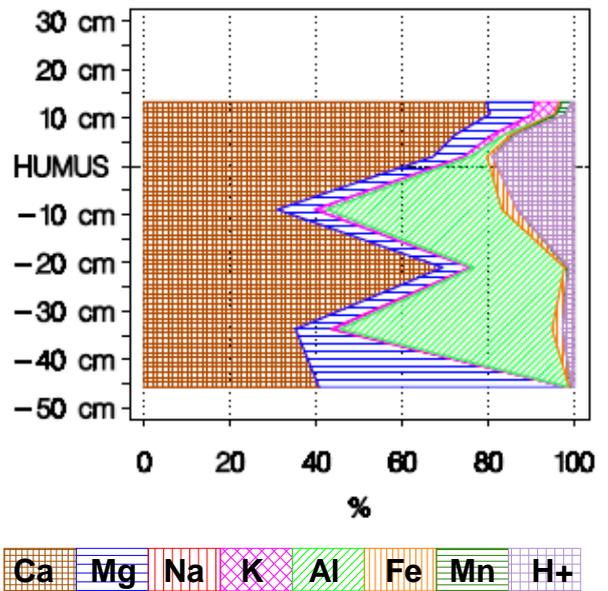


Abbildung: Austauscherbelegung (NH₄Cl-Extrakt)

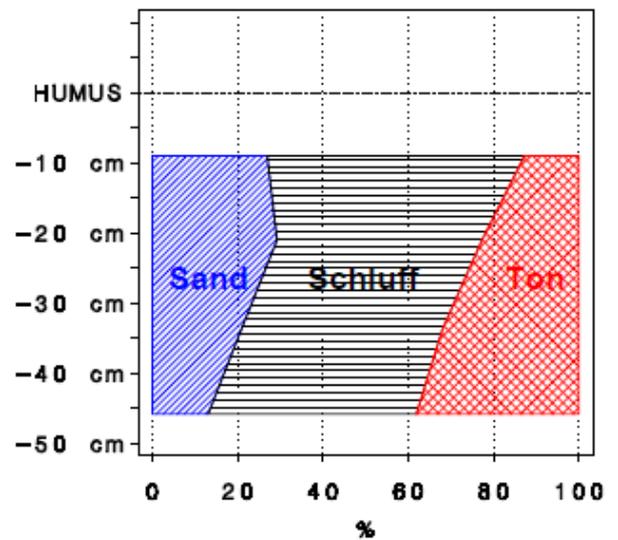


Abbildung: Korngrößenverteilung

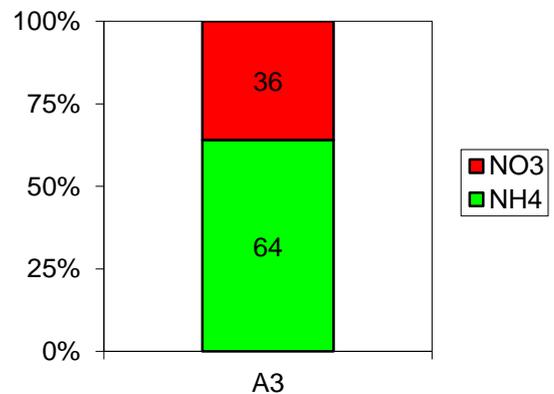


Abbildung: Nitrifikationsgrad (NO₃ / (NH₄+NO₃)); Freilandbrutversuch (Friedrich 2000)

A4: Rendzina aus Hauptdolomitschutt mit Carbonat-Bergmischwald (Aposerido-Fagetum)

Meereshöhe	1170 m (montane Stufe)
Exposition	SSE
Hangneigung	26°
Relief	Oberhang
Ausgangsgestein	Hauptdolomit-Hangschutt (Substrattyp 291)
Bodentyp	Rendzina-Terra fusca
Humusform	feinhumusreicher Moder
Horizontfolge	L/Of/Oh/ Ah/Ah-Cv/Ah-cCv/cCv
Aufnahmedatum	20.07.98
Vegetation (Kennarten)	<i>Picea abies</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Adenostyles glabra</i> , <i>Aposeris foetida</i> , <i>Valeriana montana</i> , <i>Lilium martagon</i> , <i>Hepatica nobilis</i> , <i>Carex digitata</i> , <i>Melica nutans</i> , <i>Aster bellidiastrum</i> , <i>Daphne mezereum</i> , <i>Sanicula europaea</i> , <i>Hordelymus europaeus</i> , <i>Phyteuma spicatum</i> , <i>Salvia glutinosa</i>
Waldtyp	FTB213 – montaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald Schutzwald mit Objektschutzfunktion für die Ortschaft Oberau

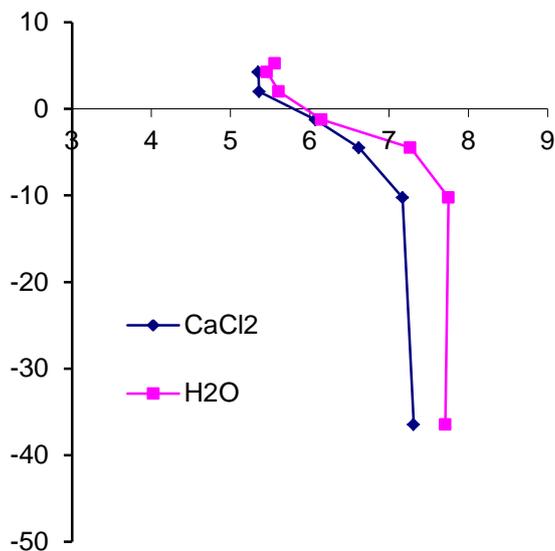


Abbildung: pH-Werte

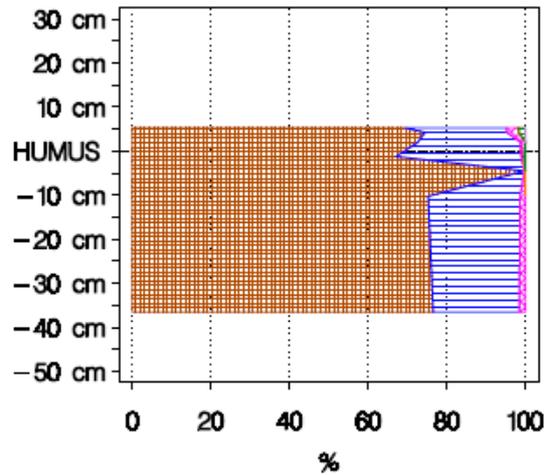


Abbildung: Austauschbelegung (NH₄Cl-Extrakt)

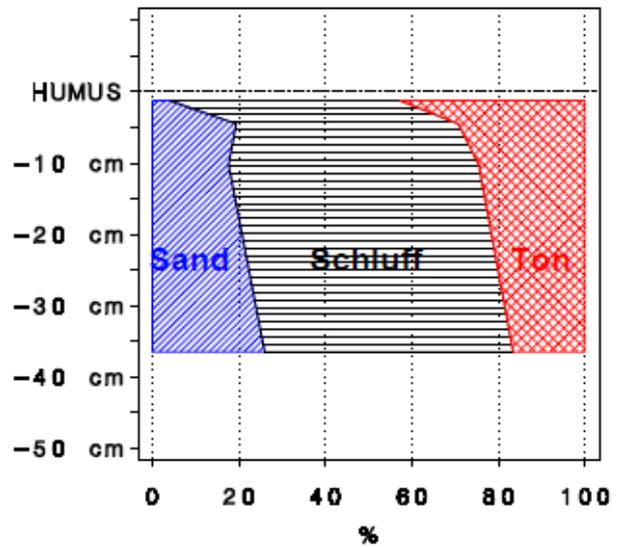


Abbildung: Korngrößenverteilung

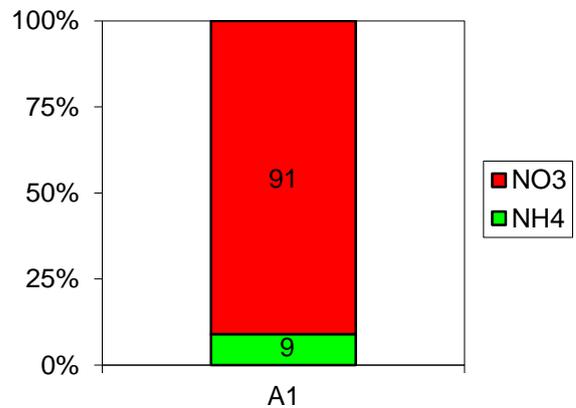


Abbildung: Nitrifikationsgrad (NO₃ / (NH₄+NO₃)); Freilandbrutversuch (Friedrich 2000)

A5: Vorsorgende Humuspflege im Carbonat-Bergmischwald (Aposerido-Fagetum)

Ausgangsgestein	Hauptdolomite (Substrattyp 291)
Waldtyp	FTB213 – montaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald Schutzwald mit Objektschutzfunktion für die Ortschaft Oberau

Schutzwaldpflege: Vom Borkenkäfer befallene Fichten werden gefällt und entrindet, das Stammholz verbleibt im Bestand, verrottet und trägt zur Bildung von günstigen Kleinstandorten mit Auflagehumus bei. Die Maßnahmen werden über vom Bayerischen Landtag bewilligte sog. „Besondere Gemeinwohlleistungen“ finanziert.

A6: Schutzwaldsanierung in Carbonat-Bergmischwald (Aposerido-Fagetum) und Felshang-Bergmischwald (Seslerio-Fagetum)

Ausgangsgestein	Hauptdolomite (Substrattyp 291)
Waldtyp	FTB213 – montaner, mäßig frischer Carbonat-Bergmischwald; FTB212s – Komplex der sub- bis hochmontanen, sonnseitigen Felshänge Schutzwald mit Objektschutzfunktion für die Bundesstraße 23

Schutzwaldsanierung: Ausbleiben von Verjüngung, Verlichtung und Überalterung der Schutzwälder gefährden die Schutzfunktionen, die in ausgewiesenen Sanierungsgebieten wiederhergestellt werden. Besichtigt werden temporäre Verbauungen (Schutz vor Schneegleiten und Lawinenanrissen), Pflanzungen, ein Steigsystem zur effizienten Bejagung und sog. Querleger. Die Maßnahmen werden von der Forstverwaltung geplant, durch vom Landtag bewilligte besondere Gemeinwohlleistungen finanziert und vom Staatsforstbetrieb umgesetzt. Ein neues System zur Abschätzung des Risikos von Standortsdegradation und zur Maßnahmenpriorisierung wird vorgestellt. Je nach Standortsgüte sind Maßnahmen der

Strukturpflege (relativ günstige Standorte mit ungünstiger Struktur) und Humuspflege (ungünstige Standorte) prioritär. Der Zielkonflikt zwischen Schutzwaldsanierung und dem Schutz von thermophilen Offenland-Lebensräumen wird diskutiert.

Literatur

- Bayerisches Geologisches Landesamt 1967: Geologische Karte m. Erläuterung 1:25 000 8432 Oberammergau. Bearbeitet von Kuhnert, Bader, Cramer, Diez, Hohenstatter, Schuch, Lohr. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1989a: Karte der Hanglabilitätsformen und -stufen im Forstamt Murnau. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1989b: Karte der Hanglabilitätsformen und -stufen im Forstamt Oberammergau. München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1989c: Karte der Hanglabilitätsformen und -stufen im Forstamt Garmisch-Partenkirchen. München.
- Friedrich, G. 2000: Stickstoffverfügbarkeit in Bergmischwäldern des Werdenfelser Landes. Diplomarbeit Fakultät für Biologie der Ludwig-Maximilians-Universität München 103 S.
- Kolb, E. 2012: Interaktive Karte der Gesteinseigenschaften. LWF aktuell 87/2012: 15–17.
- Kreutzer, K., Foerst, K., 1978: Regionale natürliche Waldzusammensetzung und Forstliche Wuchsgebietesgliederung Bayerns. München. Bearbeitung durch H.-J. Gulder 2001.
- Kuhnert, C., 1963: Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt 8432 Oberammergau. München, 128 S.
- Reger, B., Ewald, J. 2011: Waldtypenkarte Bayerische Alpen. Eine neue Planungshilfe für die Forstpraxis. AFZ/Der Wald 24/2011: 14–16.
- van Husen, D., 1987: Die Ostalpen in den Eiszeiten. Wien, 24 S.

B-01: Meteoric crater of “Nördlinger Ries”

Karl Stahr¹, Reinhard Böcker¹, Reinhard Jochum²

¹ Institutes of Soil Science and Land Evaluation, of Landscape and Plant Ecology, Hohenheim University

² Bavarian Environmental Agency, Augsburg

Itinerary

The excursion starts from Munich downtown, the capital of Bavaria, which has a medieval origin. Munich lies in the river valley of the Isar with the floodplain and the lower terrace. The excursion road is heading northwest into the hilly landscape of the lower Bavarian Rissian/Saalian moraine landscape (older moraines). There we find Luvisols, Stagnosols and in depressions Gleysols. We follow the highway A8 towards Augsburg an early Roman settlement. The town of Augsburg has a picturesque medieval city centre. Before we reach Augsburg, we drive down into the next Alpine River system the Lech. It forms a wide valley of a floodplain and a wide lower terrace. Here we find Calcaric Fluvisols in the floodplain and Luvisols on the terrace. In the West of Augsburg we take a federal road No. 2. This follows directly North on the lower terrace of river Lech. After a while we reach the lowlands of river Danube. Before that on the western side the fluvial glacial Iller-Lech terrace system is following our route. The terraces date back until the early Pleistocene in the Günz and Danube cold periods. The Danube depression has strong influence of fluvial sediments, groundwater and peat development. Therefore we find Fluvisols, Gleysols and Histosols. On the terraces we can also find Chernosems and Luvisols. The Danube catchment dates back to the beginning of the Neogen period about 20 million years ago. Meanwhile it has undergone severe changes since today. We cross the Danube at Donauwörth and take the federal road No. 25, which bring us towards north-west into the meteoric crater of the Ries. The road follows the river Wörnitz, which is developed since late Neogen and during Pleistocene and drains the major part of the Ries. The Wörnitz crosses through the carstic limestone plateaus

of the Swabian Alb to the West and the Franconian Alb to the east. Both are built by Jurassic limestones. The plateaus are the oldest terrestrial land surfaces in south-west Germany. While we follow the river Wörnitz we pass the little town of Harburg with its magnificent Harburg Castle to the West on a limestone ridge. The castle was founded by the Swabian emperors the Staufens in the 11th century. Later it was owned and inhabited by the Oettingen dukes. It has preserved its aspect dating back to the 18th century. After passing the limestone areas the Wörnitz leads up direct into the Ries area and directly to the medieval center city of Nördlingen.

Point 1: St. Georg Church at Nördlingen with the Daniel tower

Point 2: The Ries Museum

From Nördlingen we are heading north through the 15 km wide Ries basin towards Öttingen.

Point 3: Stagnic Calcic Vertisol Bettendorf near Oettingen

A little bit north of Oettingen, there is a quarry with the famous impact rock of the Suevit.

Point 4: Suevit quarry at Aumühle

Point 5: Algal reef - limestone of the Tertiary Ries Lake at the sportsground of Hainsfarth.

Lunch break is in the guest house of the Oettingen brewery, the “Post” downtown the medieval city of Oettingen.

The excursion route leads back across the clayey sediment of the Tertiary lake and reaches west of Nördlingen the rim of the Ries at Kirchheim am Ries/ Goldburghausen. This is a prominent nature reserve with dry meadows and pastures. The Goldberg in the south was a prehistoric settlement during younger Stone-

age (7000 yr from now) and a holy place. From the Langenberg into the depression of Goldburghausen, a soil catena will be presented.

Point 6: Rendzic Leptosol on freshwater limestone

Point 7: Cutanic Calcic Luvisol on freshwater limestone

Point 8: Terric Anthrosol from loess colluvial deposit

Point 9: Hemic Histosol from fen peat upon clay lake sediments

Not far from Goldburghausen at Trochtelfingen in the traditional guest house “Lamm” we will have a short “Vesper” (snack). From Trochtelfingen we are heading towards the Cuesta of the Swabian Alb and reach Bopfingen, a town directly on the foot of the Swabian Alb, with an important “Zeugenberg”, the Ipf. It was already a fortress 3000 years ago in the Celtic period. From Bopfingen the excursion is heading south and joining the road, which we took from Munich through Donauwörth and Augsburg back towards Munich.

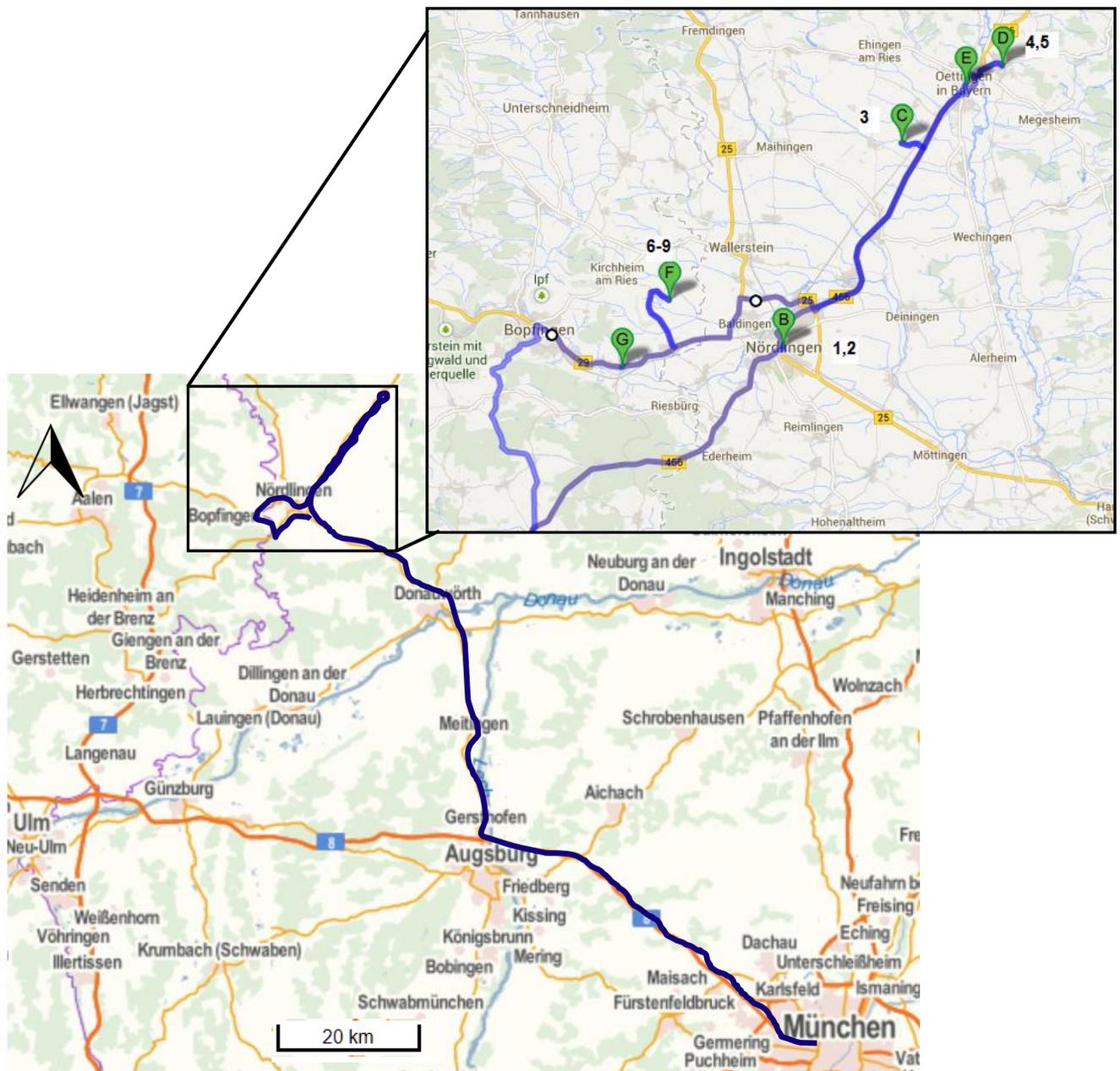


Fig.: Itinerary of the excursion to Nördlingen Ries from Munich;
Inset: Itinerary detailed of the excursion into the Nördlingen Ries



Fig. 1: Areal view of Nördlingen,

- 1 Daniel bell tower,
- 2 Ries museum

Nördlingen (Site 1)

Nördlingen is a picturesque little town of medieval origin. The city wall constructed in 1327 with 5 town gates and 12 different towers is still well-preserved. In the 15th century, the gothic main church of St. Georg with its dominant 90 m high bell-tower, the “Daniel” is dominating the center of the city. Nördlingen was first mentioned in 898. In 1250, the Stauffen Emperor Friedrich II included Nördlingen as a free city of the empire and therewith raised its importance. The city hall (Steinhaus) dates back to 1382, when it was bought by the administration of the city. In 1522, Nördlingen became protestant, in 1634 through the 30-years-war, it was conquered by the German Emperors troops after the battle of Nördlingen. In 1849, the rail road reached Nördlingen. Today Nördlingen has about 20.000 inhabitants with about 10 tributary villages incorporated and it is growing with some industry outside the town wall.

At Nördlingen the excursion will visit the tower “Daniel” of the church (Point 1), which is built from Suevit and shows this characteristic rock

with very nice faces. Furthermore, we will visit the Ries museum (Point 2), which shows that the meteoric crater of the Ries is one of the best documented craters in the world.

The Ries (Site 2)

The Ries is an impact crater, which was formed in the Miocene 14.7 million years ago. The size of the asteroid was around 1 km and the diameter of the crater now is about 25 km. The rim of the crater is about 150 m high. The origin of the Ries was unclear and in the 1940s and 1950s the common sense reached that it is a volcano. Only in 1961 two visiting geologists from the USA Shoemaker and Chao found a clear sign of an impact crater with their experience from Arizona. They found the high pressure minerals Coesit and Stishovit. From then it was clear how the crater had developed. The impact took place in a cuesta landscape with a southern part being Jurassic limestones and the northern part being Triassic sandstones and Keuper marls. The huge impact which the asteroid had with 20 km/s velocity, a pressure of about 5 megabar and temperature, which reached 20,000°C is shown in Fig. 1 a-f.

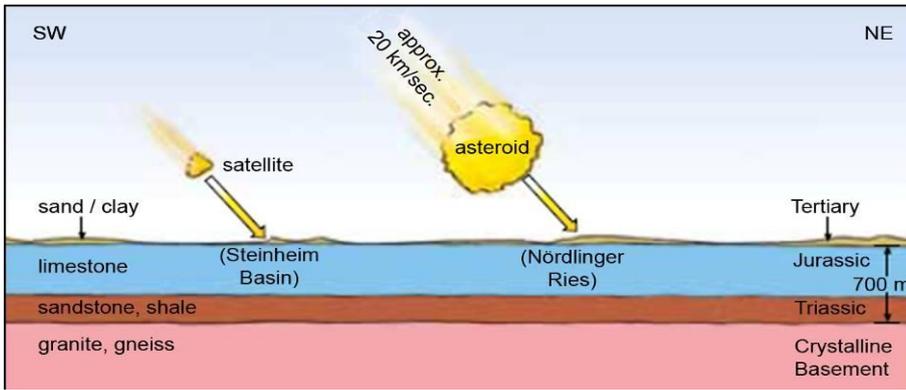
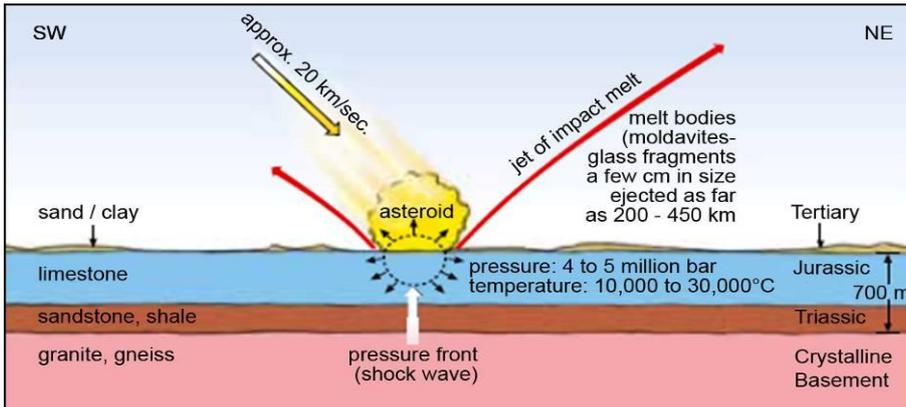
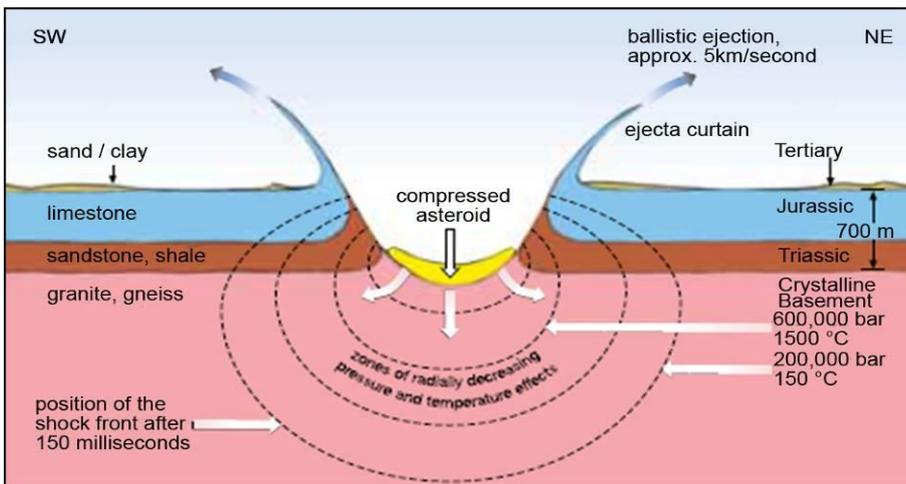


Fig. 1 a-f: The phases of the impact (from Geopark-Ries.de)

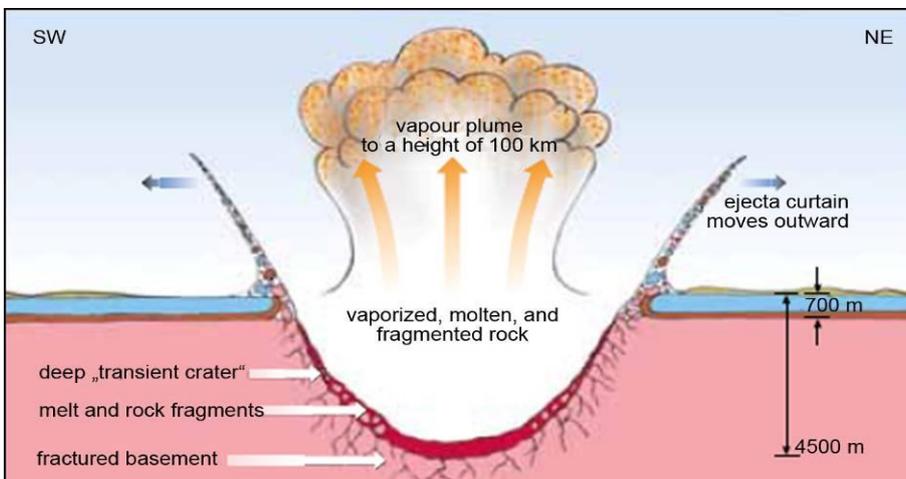
a:
35 milliseconds
before impact



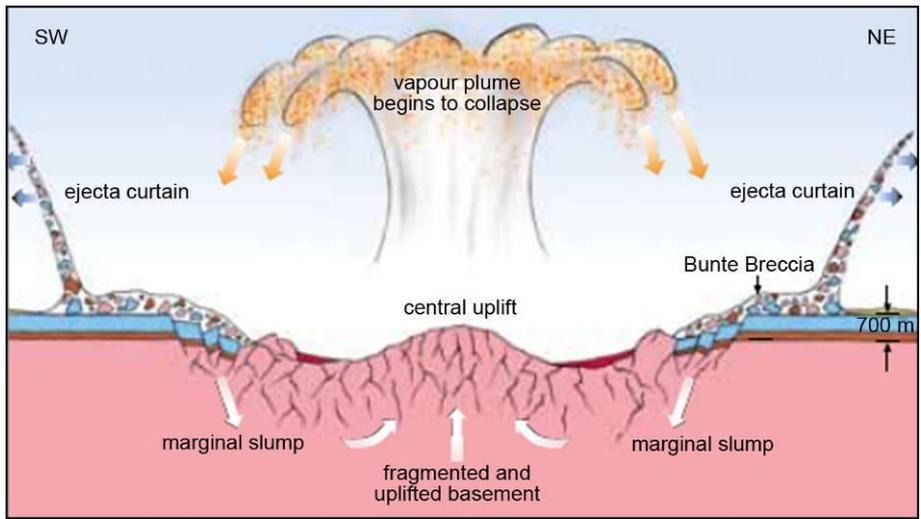
b:
10 milliseconds
before impact



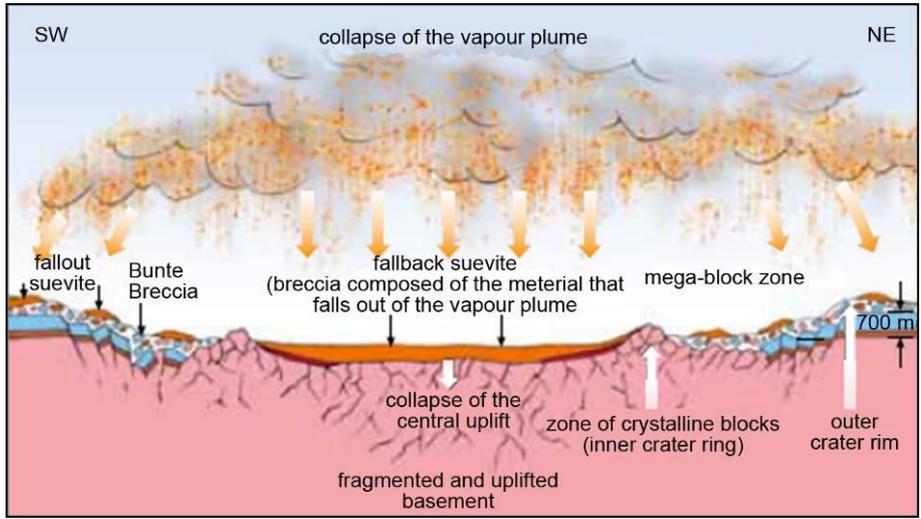
c:
Beginning of crater
formation 60 milli-
seconds after impact



d:
Formation of the
deep "transient
crater" after about 10
seconds



e: Collapse of the “transient crater” and deposition of ejected rock masses after 1 minute



f: End of crater formation and deposition of suevite after 10 minutes

Fig. II.3.2.1.a-f: The phases of the impact (from Geopark-Ries.de)

The rocks were changed by this impact to a very strong degree. Today we find different materials which show back to the history of Ries crater. First, the megablocks, which are allochthonic materials that have been thrown out from the crater into the surrounding, the size can be some 25 m up to 1 km. These materials can be limestones, but also crystalline rocks. Beside that fractured rocks are formed, which is called colored breccia. They are mixtures of different rocks from Triassic and Jurassic origin, sometimes with some crystalline admixtures. The last group of rocks is the most prominent, the so-called Suevit. This Suevit is primary composed of fragments from granite and gneiss from the crystalline basement but has some characteristic lumps of molten crystalline rock (Fig. 2). This forms the typical black, glassy parts of the Suevit. The Ries has

a satellite with the Steinheim basin, where the asteroid was about one tenth in diameter .



Fig. 2: Typical aspect of Suevit (Foto: Böcker)

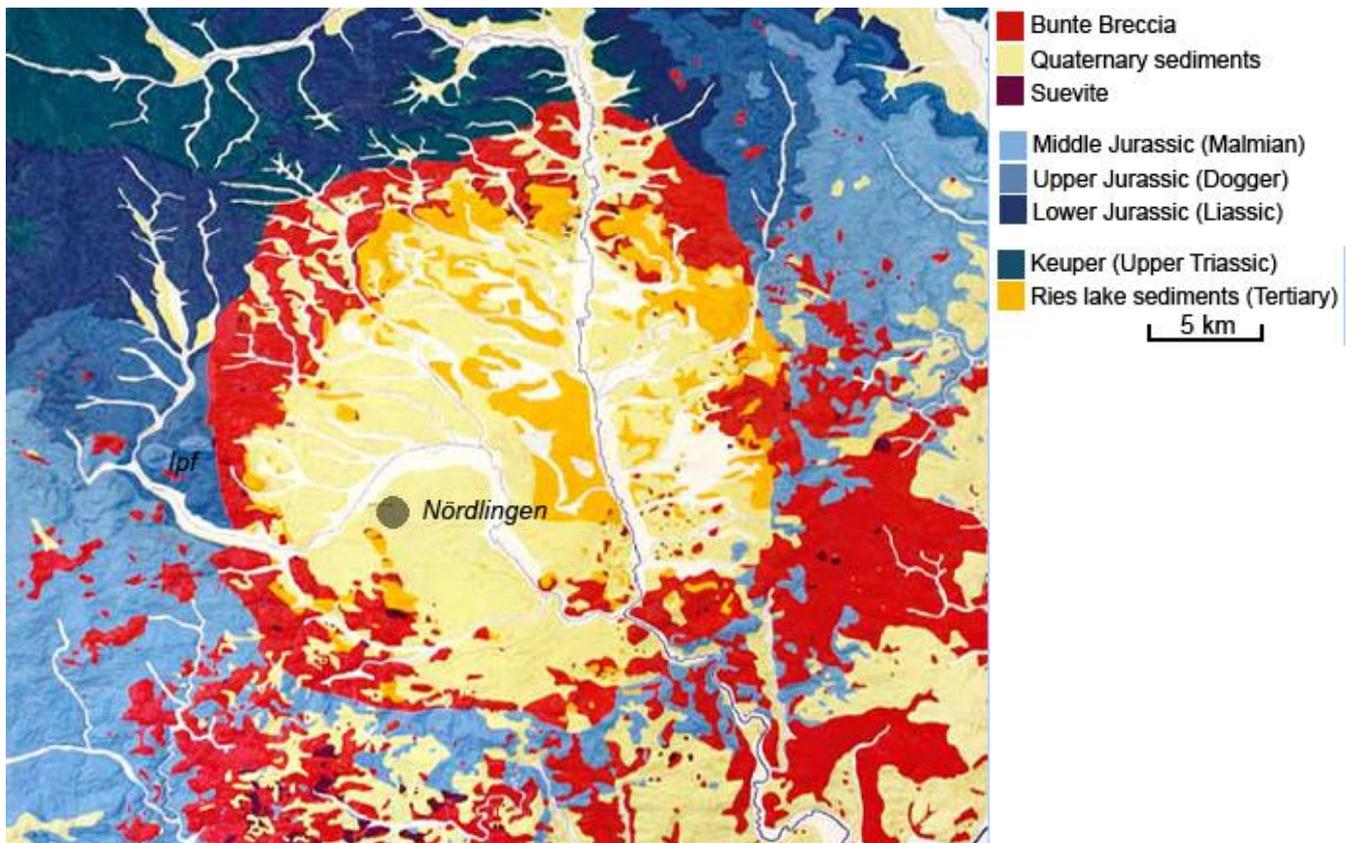


Fig. 3: The rock types of the Ries crater showing the distribution of impact rocks (Source: Geopark Ries.de)

Not far south from the Ries to the time of the impact event, there was the Miocene sea and we had an arid climate. Therefore the Ries crater was quickly filled with saline water and this huge lake was inhabited by the typical fauna of snails, insects, and shrimps like modern salt lakes. About 2 million years later, before the lake was totally silted up, the Ries turned into a fresh water environment and the fauna became much richer.

The modern Ries is an uplifted depression, inhabited by men since the Palaeolithic period and is now drained by the little rivers Eger and Wörnitz, which are incising into the former lake sediments and draining into the Danube system. The Ries together with the surrounding has been uplifted since Miocene about 500 m from its original sea-level. For the rock types of the Ries crater and the distribution of impact rocks see Fig. 3.

Bettendorf (Site 3): Calcic Vertisol from clayey Tertiary lake sediments

Site description

Landscape, Location: Öttingen

R: 4395387, H: 5422618

Elevation: 419 m ü. NN

Mean annual precipitation / temperature: 650 mm / 8.0 °C

Relief: plain, bottom flat, 0-0.2 %, N

Vegetation / Land use: grassland, pasture

Parent material: clayey lake sediments of the Ries lake

Drainage: moderately drained

WRB 2006: Stagnic Calcic Vertisol (Humic, Pellic)

WRB 2014: Calcic Pellic Vertisol (Humic, Stagnic)

KA5: Humuspelisol from Riessediments with loess admixture in topsoil



Fig. 3: Location and profile of site 3 Bettendorf/Öttingen

Tab. 1: Soil description and data of site 3 (Bettendorf/Öttingen)

Depth cm	Horizon Germ.	Coarse fragments FAO ¹⁾	Texture Germ. FAO ¹⁾	Colour (moist), Structure
-22	rAp o Ah	Ah	Tt C	7,5YR 2/2, subangular blocky
-58	II Ah-P	2Bw	Tt HC	2,5 YR 1.7/2, blocky
-75	III Sd-elCv	3Bg	Tl HC	2,5 Y 6/4, blocky-coherent
-100+	III elCv	3Cw	Tl HC	2,5 Y 6/6, coherent

Depth cm	Coarse fragm. W. %	Texture, free of carbon						Clay %	Silt %	Sand %	Bulk dens. g/cm ³	CaCO ₃ equiv. %
		cS %	mS %	fS %	cSi %	mSi %	fSi %					
-22	-	0.4	2.7	2.7	8.4	13.0	7.3	66.0	28.7	5.8	1.07	0
-58	-	1.5	1.5	1.5	6.6	10.0	5.2	74.0	21.8	4.5	1.18	0
-75	24	6.9	2.7	1.7	5.4	9.2	11.0	63.0	25.6	11.3	-	15.0
-100+	29	6.0	2.8	1.5	4.2	9.0	15.6	60.9	28.8	10.3	-	25.3

Depth cm	TC %	TIC %	TOC %	N _t %	C/N	kf cm/d	TPV	AC		aWC	DW
								----- Vol. % -----			
-22	4.48	0	4.48	0.44	10.2	-	60.2	-	-	-	-
-58	2.23	0.	2.23	0.17	13.1	-	58.0	-	-	-	-
-75	2.45	1.85	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-
-100+	3.50	3.09	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-

Depth cm	pH	CEC CaCl ₂ pot.	CEC eff.	Exchangeable cations					Weatherable				Available	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H+ Al	Ca _w	Mg _w	K _w	P _w	K _{la}	P _{la}
				----- mmol _e /kg -----					%	%	%	g/kg	mg/kg	
-22	5.3		374	269	91	13	0	<1	0.9	1.4	2.2	1.13	-	-
-58	6.7		478	319	149	10	0	<1	1.1	1.8	2.4	0.44	-	-
-75	7.7		351	230	116	5	1.0	<1	6.4	3.9	2.3	0.43	-	-
-100+	7.8		353	240	107	6	1.0	<1	9.4	5.7	2.3	0.44	-	-

Depth cm	Fe _t g/kg	Fe _d g/kg	Fe _o g/kg	Fe _p g/kg	Fe _{d/t}	Fe _{o/d}	Al _d g/kg	Al _o g/kg	Al _p g/kg	Mn _d g/kg	Mn _o g/kg
-22	49.6	21	3.0	-	0.42	0.14	2.8	1.6	-	0.51	0.16
-58	57.7	22	1.1	-	0.38	0.05	2.7	1.4	-	0.85	0.34
-75	57.6	22	0.2	-	0.38	0.01	2.2	0.47	-	0.91	0.12
-100+	47.9	18	0.14	-	0.37	0.01	1.7	0.36	-	0.73	0.11

Depth cm	Total contents							Clay minerals fraction <2 μm			
	Si _t g/kg	Al _t g/kg	Fe _t g/kg	K _t g/kg	Ti _t g/kg	Zr _t g/kg	Ti/Zr	Kao %	Illite %	Sm %	Chl %
-22	255.4	85.7	49.6	18.3	5.6	0.27	20.7	-	-	-	-
-58	256.5	96.8	57.7	20.2	5.2	0.24	21.6	-	-	-	-
-75	213.6	84.2	57.6	18.9	4.3	0.19	22.6	-	-	-	-
-100+	189.6	77.8	47.9	19.4	3.9	0.17	22.9	-	-	-	-

1) FAO abbreviations in all tables according to "Guidelines for Soil Description", FAO, Rome, 2006

Explanation site 3 (Bettendorf/Öttingen)

The Ries lake existed from 14.7 mio yr ago for about 2.5 mio yr. Then the basin was filled and later gradually eroded. The center of the neogen lake is filled with heavy clays of marly petrography. Older soil surfaces have been removed, especially during Pleistocene.

Today we find the famous Holocene Vertisols on these sediments. The loess admixture is only very shallow. All soil processes related to a Vertisol can be observed. The subsoil shows hydromorphic features and also secondary lime enrichment. Despite of the high soil fertility, the workability of this soil is very problematic and the use for root crops is not recommended.

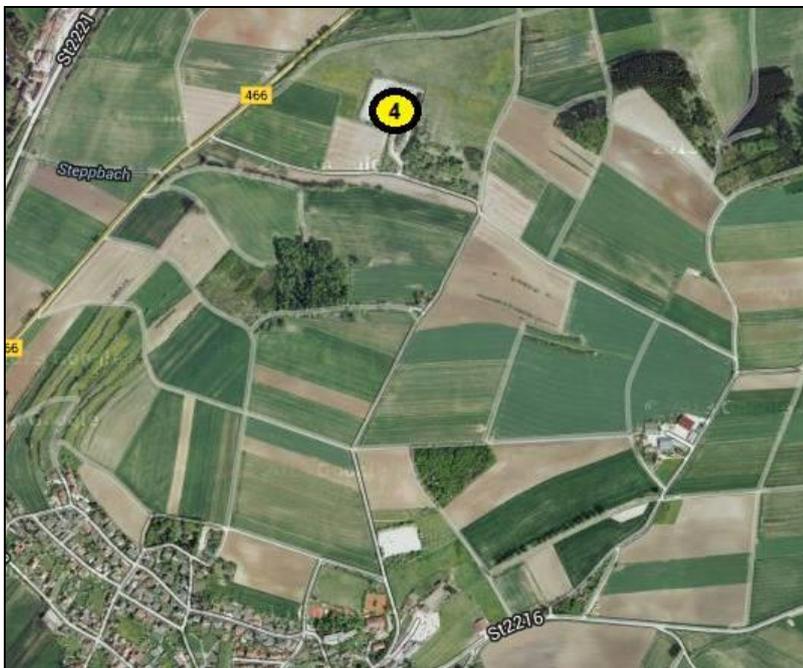


Fig. 4: Location of Aumühle quarry near Öttingen (R: 43 99 800, H: 5426 780)

Suevit quarry at Aumühle (Site 4)

The quarry is a still active one, which processes Suevit. It is located 2.5 km NE of

Öttingen. This quarry exposes both typical rocks of the Ries-impact-crater, below the Bunte (coloured) Breccia and above the Suevit.

The Bunte Breccia is containing fragments of all rocks, which have been passed by the projectile from the upper Jurassic limestone until the gneisses of the basement in a depth of more than 1 km. The colours result mainly from the red colours of Triassic rocks (buntsandstone and keuper marls).

The Suevit is formed by a fine grey tuff-like groundmass with some coarser clastics of broken rock. Finally it contains glassy (molden) pieces, which are irregular formed and fell down in the first ten minutes after the impact, like vulcanoclastic ignimbrite.

So the whole sequence at Aumühle was deposited, first the Breccia and then the Suevit within less than 10 min after the impact, but 14.7 mio yr ago.

Algal reef limestone at Hainsfarth sports-ground (site 5)

The abandoned quarry shows the characteris-

tic limestones deposited in the ancient Ries lake. The typical structures of the limestones are the cone-in cone structures of algal reefs formed by the by a green algae *Cladophorites incrustatus* (Ludwig). The single cones are 45 to 150 µm wide and form bioconstructions of compound cones. They have been formed during the early and middle phase of the Ries lake near to or even above the surface of the water table.

The lake was than a soda-dominated saline environment. Its fauna is characterised by few species and very high numbers of individuals. The lake also a few fossils like the aquatic gastropode *Hydrobia trochulus* (Sandberger), the ostracode *Strandesia visgoviensis* (Sieber) and also the subaeric snail *Cepaea sylvestrina* (Schlotheim).

During the final phase the lake turned into a fresh water lake, which after 2 to 3 mio yr filled the basin totally (up to 300 m sediments).



Fig. 5: Location of limestone exposure Hainsfarth (R: 44 05 200, H: 54 24 800)

Goldburghausen (Site 6): Rendzic Leptosol from freshwater limestone

The sites 6 to 9 represent a typical soil catena of Rendzic Leptosol on freshwater limestone, Calcic Luvisol on freshwater limestone, Terric Anthrosol from loess colluvial deposit and a

Hemic Histosol from fen peat upon clay lake sediments of the depression of Goldburghausen. The distribution of soils is shown in Fig. 6.

Site description

Landscape, Location: Rim of the Ries meteoric crater, crest of the Langenberg nature reserve.

R: 3603833, H: 5414875

Elevation: 495 m ü. NN

Mean annual precipitation / temperature: 650 mm / 8 °C

Relief: medium gradient hill, upper slope, 15 %, ENE

Vegetation / Land use: Herbaceous grassland, pasture-nature reserve

Parent material: Neogene freshwater limestone

Drainage: excessively drained

WRB 2006: Rendzic Leptosol (Calcaric, Humic) or Haplic Kastanosem (Clayic)

WRB 2014: Rendzic Leptosol (Humic)

KA5: (Mull) Normrendzina

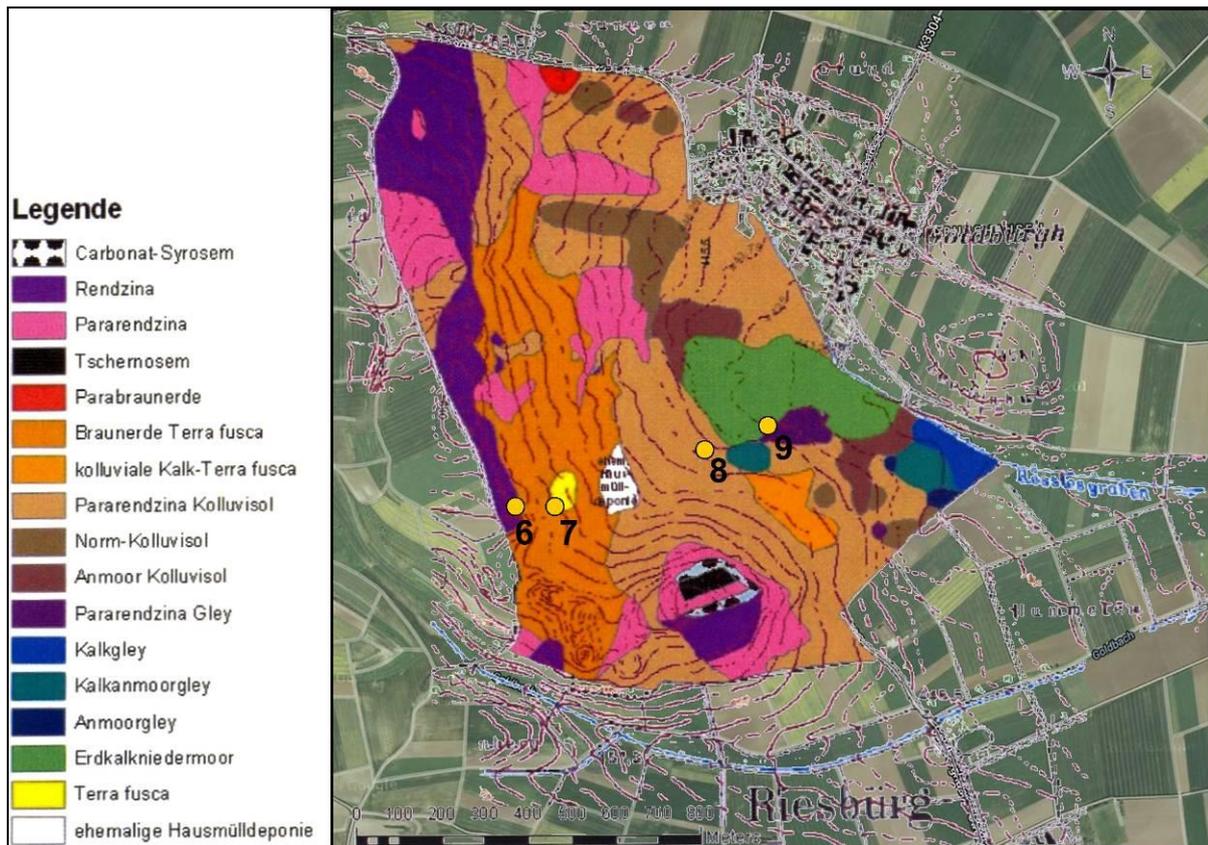


Fig. 6: Detailed soil map of the basin of Goldburghausen and location of soil pits

Tab. 2: Soil description and data of site 6 (Goldburghausen Leptosol)

Depth cm	Horizon Germ.	Coarse fragments FAO	Texture			Colour (moist), Structure
			Germ.	FAO	FAO	
0-10	Axh1	Ah1	2	Tu2	SiC	7.5 YR 2/3, crumb
10-30	Axh2	Ah2	20	Tu2	SiC	7.5 YR 3/2, crumb
> 30	cCvc	R	85	Tu2	SiC	7.5 YR 4/3, crumb / single grained

Depth cm	Coarse Fragm.				Texture, free of carbon						Bulk dens. g/cm ³	CaCO ₃ Equiv. %
	W.%	cS %	mS %	fS %	cSi %	mSi %	fSi %	Clay %	Silt %	Sand %		
0-10		1	2	7	13	16	12	49	41	10	0.76	40.2
10-30		1	2	7	14	13	13	49	40	10	0.91	44.5
> 30		0	1	6	13	15	14	51	42	7	-	72.6

Depth cm	TC %	TIC %	TOC %	N _t %	C/N	kf cm/d	TPV	AC ----- Vol. %	aWC -----	DW
0-10	12.1	4.8	7.3	0.74	9.9	4600	72	34	12.2	25
10-30	11.4	5.3	6.1	0.62	9.7	7200	66	-	-	-
> 30	11.1	8.7	2.4	0.36	6.8	-	-	-	-	-

Depth cm	pH	CEC CaCl ₂ pot.	CEC eff.	Exchangeable cations					Weatherable				Available	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H+ Al	Ca _w %	Mg _w %	K _w %	P _w g/kg	K _{la} mg/kg	P _{la}
0-10	7.3	480	480	460	11	4.6	0.9	0	-	0.45	0.43	2.2	58.2	25.4
10-30	7.3	423	423	408	10.5	4.0	0.3	0	-	0.43	0.37	2.0	45.8	19.2
> 30	7.4	239	239	233	4.9	1.3	0.5	0	-	0.36	0.16	1.9	8.1	25.2

Depth cm	Total contents							Clay minerals fraction <2 μm				
	Fe _t g/kg	Ca _t g/kg	Mg _t g/kg	K _t g/kg	Ti _t g/kg	Zr _t g/kg	Ti/Zr	Kao %	Illite %	Sm %	Chl %	
0-10	25.3	191	6.2	8.9	2.25	0.17	14	16	12	66	6	
10-30	24.2	188	5.3	8.1	2.17	0.16	14	20	15	57	8	
> 30	14.0	274	5.7	4.6	1.21	0.11	11	11	7	77	4	

Explanation Goldburghausen (Site 6)

The limestone is about 12 mio yr old and from Miocene origin. However, the land surface is late Pleistocene to Holocene. Due to physical weathering, water and gravity erosion the porous limestone are still or again exposed.

The limestone is weathered and mainly three processes have formed the actual soil:

1. Enrichment of silicatic limestone residue
2. Accumulation of soil organic matter
3. Bioturbation and formation of fine stable crumbs.

The decalcification is net about 50 kg m⁻², which could be explained with about 2000 yr of soil formation. That means the site is not totally stable against erosion. However, the enrichment of humus is high with 28 kg m⁻² (280 t ha⁻¹). The highly porous alkaline soil is a splendid substrate for the rich and rare vegetation.

Goldburghausen (Site 7): Calcic Luvisol from freshwater limestone

Site description

Landscape, Location: Rim of the Ries meteoric crater, slope of the Langenberg

R: 3603943, H: 5414875

Elevation: 476 m ü. NN

Mean annual precipitation / temperature: 650 mm / 7.8 °C

Relief: medium gradient hill, middle slope, 5 %, E

Vegetation / Land use: Grassland, meadow

Parent material: Neogene freshwater limestone with loess cover

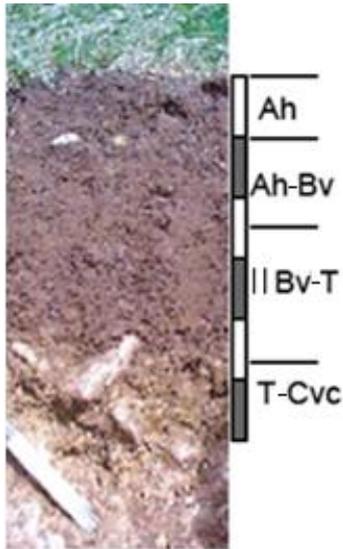
Drainage: free drained

WRB 2006: Cutanic Calcic Luvisol (Siltic)

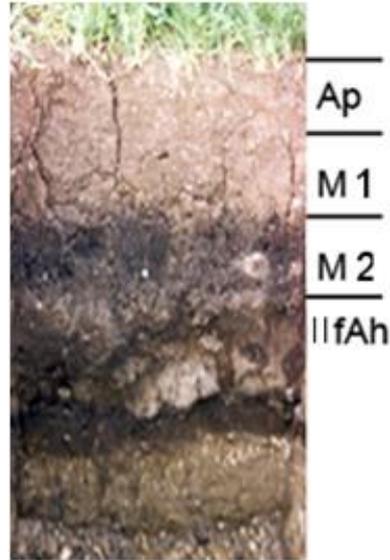
WRB 2014: Calcic Luvisol (Siltic, Cutanic)

KA5: basenreiche Braunerde-Terrafusca oder Braunerde über Terrafusca

Site 7



Site 8



Site 9

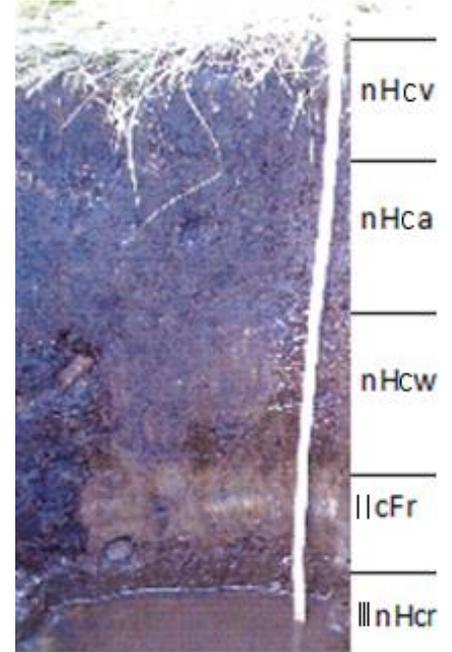


Fig. 7: Profiles of site 7, 8, and 9

Tab. 3: Soil description and data of site 7 (Goldburghausen Luvisol)

Depth cm	Horizon Germ.	Coarse fragments FAO	Texture Germ.	Colour (moist), Structure
0-12	Ah	Ah	Lt3	10 YR 3/4, subangular blocky
12-32	Ah -Bv	AB	Lt3	10 YR 4/4, subangular blocky
32-60	II Bv-T	Bt	Tu2	10 YR 4/6, blocky
60-85	T-Cvc	BR	Ut2	10 YR 6/7, massive

Depth cm	Coarse Fragm. W.%	Texture, free of carbon							Bulk dens. g/cm ³	CaCO ₃ Equiv. %	
		cS %	mS %	fS %	cSi %	mSi %	fSi %	Clay %			Silt %
0-12	0	2	7	22	16	11	42	49	9	1.15	1.6
12-32	1	2	7	21	17	11	41	49	10	1.42	3.5
32-60	0	1	5	19	19	9	47	47	6	1.34	0.7
60-85	0	2	3	9	74	4	9	87	5	-	24.4

Depth cm	TC %	TIC %	TOC %	N _t %	C/N	kf cm/d	TPV	AC		aWC	DW
								----- Vol. % -----			
0-12	4.0	0.2	3.82	0.4	9.6	492	57.0	12.4	22.2	22.4	
12-32	2.7	0.4	2.28	0.3	8.6	343	46.7	7.6	17.8	21.8	
32-60	1.0	0.1	0.95	0.1	7.9	278	49.4	-	-	-	
60-85	3.9	2.9	1.01	0.1	10.6	-	-	-	-	-	

Depth cm	pH	CEC CaCl ₂ pot.	CEC eff.	Exchangeable cations					Weatherable				Available	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H+ Al	Ca _w %	Mg _w %	K _w %	P _w g/kg	K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
0-12	7.0	392	392	373	10.4	8.0	0.8	0	0.9	0.5	0.8	0.7	162	91
12-32	7.2	343	343	315	13.2	14.0	1.2	0	1.5	0.5	0.8	0.1	158	43
32-60	7.3	336	302	285	10.7	6.1	0.1	0	0.5	0.4	0.8	0.05	91	0
60-85	7.6	332	332	312	10.6	5.5	3.9	0	13.1	0.5	0.8	0.06	67	6

Depth cm	Total contents							Clay minerals fraction <2 µm			
	Fe _t g/kg	Ca _t g/kg	Mg _t g/kg	K _t g/kg	Ti _t g/kg	Zr _t g/kg	Ti/Zr	Kao %	Illite %	Sm %	Chl %
0-12	57.4	16.3	6.3	17.6	5.45	0.40	14	15	20	61	4
12-32	56.0	21.0	6.9	17.9	5.49	0.40	14	16	20	60	4
32-60	63.3	9.0	7.8	17.8	5.91	0.39	15	14	10	74	2
60-85	44.3	106.5	9.7	16.9	4.10	0.22	19	6	8	84	2

Explanation Goldburghausen (Site 7)

The parent material is the same like at the Leptosol. However, the soil mass, the dissolution residue, is much more with 600 kg m⁻² instead of 90. This would afford a time of development of around 12.000 yr, if no erosion and no sedimentation took place. From field observation we rather expect erosion. The loess admixture is low (about 10%). Thin sections showed clear but not frequent clay skins in the third horizon. Clay minerals show the contrasting observation of illitisation and kaolinisation, which both may point to aeolian admixtures, like the little bit of chlorite. The higher soil mass allowed almost as much org. matter enrichment 26 kg m⁻² like the Leptosol, but did not form the strong biotic aggregates. The greater soil depth already brings this soil at the limits of an arable soil.

Goldburghausen (Site 8): Terric Anthrosol from loess colluvial deposit

Site description

Landscape, Location: Ries meteoric crater, depression of Goldburghausen

R: 3604378, H: 5414999

Elevation: 448 m ü. NN

Mean annual precipitation / temperature: 650 mm / 7.8 °C

Relief: depression, toeslope, 2 %, NE

Vegetation / Land use: arable land (wheat, corn, sunflower)

Parent material: loess colluvial deposit

Drainage: free drained

WRB 2006: Terric Anthrosol (Clayic)

WRB 2014: Terric Anthrosol (Clayic, Calcaric)

KA5: kalkhaltiger Normkolluvisol

Tab. 4: Soil description and data of site 8 (Goldburghausen Anthrosol)

Depth cm	Horizon		Coarse fragments	Texture		Colour (moist), Structure
	Germ.	FAO		Germ.	FAO	
0-28	Ap	Ap	2	Lt3	SiC	10 YR 4/4, subangular blocky
28-58	M1	Bw1	10	Tu2	SiC	10 YR 4/6, blocky
58-83	M2	Bw2	10	Tu2	SiC	10 YR 4/6, subangular blocky
83-109	II fAh	Ahb	15	Tu2	SiC	10 YR 3/3, blocky

Depth cm	Coarse fragm. W. %	Texture, free of carbon							Bulk dens. g/cm ³	CaCO ₃ Equiv. %		
		cS %	mS %	fS %	cSi %	mSi %	fSi %	Clay %			Silt %	Sand %
0-28	-	1	2	7	21	18	8	44	47	10	1.41	15.6
28-58	-	1	1	7	16	22	8	46	46	9	1.36	17.4
58-83	-	0	2	6	15	22	9	46	46	8	1.32	10.6
83-109	-	0	1	7	14	20	8	50	42	8	1.35	2.6

Depth cm	TC %	TIC %	TOC %	N _t %	C/N	kf cm/d	TPV	AC		aWC	DW
								-----	Vol. % -----		
0-28	4.25	1.8	2.4	0.27	8.9	10	46.7	8.5	12.4	25.8	
28-58	3.37	2.1	1.3	0.14	9.4	397	48.6	-	-	-	
58-83	2.82	1.3	1.6	0.16	9.8	61	50.9	-	-	-	
83-109	1.87	0.3	1.6	0.15	10.1	73	49.4	-	-	-	

Depth cm	pH	CEC		Exchangeable cations					Weatherable				Available	
		CaCl ₂ pot.	CEC eff.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ Al	Ca _w %	Mg _w %	K _w %	P _w g/kg	K _{la}	P _{la}
				----- mmol _c /kg -----									mg/kg	
0-28	7.4	336	336	298	14.6	19.8	4.0	0	6.9	0.5	0.7	1.3	396	88
28-58	7.5	293	293	274	12.7	5.7	0.9	0	8.0	0.5	0.5	0.9	70	13
58-83	7.4	329	329	307	15.0	5.1	1.6	0	4.8	0.5	0.9	1.0	38	20
83-109	7.5	400	400	379	12.7	6.8	1.6	0	1.3	0.5	1.0	0.9	72	18

Depth cm	Total contents							Clay minerals fraction <2 μm				
	Fe _t g/kg	Ca _t g/kg	Mg _t g/kg	K _t g/kg	Ti _t g/kg	Zr _t g/kg	Ti/Zr	Kao %	Illite %	Sm %	Chl %	
0-28	43.1	72.1	7.5	17.4	4.36	0.34	13	9	18	70	3	
28-58	45.4	75.9	7.6	16.4	4.46	0.31	14	10	14	72	4	
58-83	49.3	50.6	8.0	17.7	4.96	0.34	15	8	12	76	4	
83-109	55.6	19.0	8.3	19.9	5.62	0.37	15	7	12	76	5	

Explanation Goldburghausen (Site 8)

This soil is typical for the toeslope. The original surface is buried under colluvial material which was deposited due to farm activities upslope.

Before the depression was drained arable farming was restricted to mid and lower slopes. However, with the eroded soil material the lower part rose more and more above the ground water influence, which must be seen as favourable by the farmers the traditional land use was alternating arable use and grass fallow with some fruit trees.

The colluvial material is higher in clay than normal loess – pointing to a limestone residue component and local loess material being richer in clay than elsewhere. The clay minerals (chlorites, illites) show, especially in the topsoil, these loess admixtures. Autochthonous organic matter is high and amounts to 43 kg m⁻². The decalcification was complete before the agricultural use (younger stone age) started but the colluvial material brought new lime. The high content of available nutrients traces to modern agricultural use. These soils represent the widespread fertile soils of the Ries basin.

Goldburghausen (Site 9): Hemic Histosol from peat over marly mud of an ancient lake

Site description

Landscape, Location: Ries meteoric crater, depression of Goldburghausen

R: 3604509, H: 5415113

Elevation: 441 m ü. NN

Mean annual precipitation / temperature: 650 mm / 7.8 °C

Relief: depression, bottom level, 0.5 %, N

Vegetation / Land use: grassland, meadow

Parent material: peat and marl (lake sediments)

Drainage: strongly impeded (ground water)

WRB 2006: Hemic Histosol (Calcaric)

WRB 2014: Hemic Histosol (Calcaric)

KA5: Kalkerdniedermoor

Explanation Goldburghausen (Site 9)

The center of the Golburghausen depression is filled with a Holocene fen. Most probably this was never a lake after the Ries-lake dried out, but the depression was filled with fluvial rather coarse sediments originating from a local creek, coming down from the Langenberg during Würmian period. Its course may be like the major drain today. Therefore we believe the peat was growing with rising groundwater (Versumpfungsmoor = swamp fen). The ground/surface water brought during the Holocene beside clastic particles mainly dissolved lime. Therefore we find beside the peat calcareous mud. The peat formation started in the Pre-

boreal phase 9150 to 7850 before Chr. The fen was overgrown by sedges, surrounded by a pine and birch forest.

The modern drainage caused a drastic change of the peat properties. A lot of ash and charcoal particles are found til 60 cm. The drains may date back to the Staufen period 1100 to 1200 past Chr., but it is documented for the 19. century. The well preserved peat below 70 cm depth documents that the depression was

never drained deeper.

The actual aspect is extremely different from the natural one. Men and the creek bring occasionally mineral material and artefacts into the depression. In contrast the level of the surface has been lowered by compaction and mineralisation at least for 1 m. Still more than 120 kg m⁻² (1200 t ha⁻¹) of organic material is stored in the depression.

Tab. 5: Soil description and data of site 9 (Goldburghausen Hisosol)

Depth cm	Horizon		Coarse fragments	Texture		Colour (moist), Structure
	Germ.	FAO		Germ.	FAO	
0-20	nHcv	Ha	< 1	nH	-	2.5 Y 2/1, crumb
20-35	nHca	Ha	< 1	nH	-	5 Y 2/1, blocky
35-60	nHcw	He	< 1	nH	-	2.5 YR 1.7/1, peat
60-70	II cFr	Lm	< 1	Lv	SiL	2.5 Y 3/3, coherent
70-82	III nHcr	Hr	< 1	nH	-	7.5 YR 2/2, peat

Depth cm	Coarse fragm.				Texture, free of carbon						Bulk dens. g/cm ³	CaCO ₃ equiv. %
	W.%	cS %	mS %	fS %	cSi %	mSi %	fSi %	Clay %	Silt %	Sand %		
0-20	-	2.1	2.9	6.4	22.1	22.0	9.2	33.0	11.4	43.3	0.66	10.4
20-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26	20.1
35-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.16	7.6
60-70	-	0.8	0.4	0.8	33	19	20	26	72	2.0	0.32	57.8
70-82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	22.9

Depth cm	TC %	TIC %	TOC %	N _t %	C/N	kf cm/d	TPV	AC		aWC	DW
								-----	Vol. % -----		
0-20	19.0	1.2	17.7	1.4	12.6	70	52	-	-	-	-
20-35	34.1	2.4	31.7	2.0	16.2	440	81	-	-	-	-
35-60	41.6	0.9	40.7	2.1	19.5	157	88	-	-	-	-
60-70	22.6	6.9	15.7	0.7	22.6	221	76	-	-	-	-
70-82	22.2	2.7	19.4	1.3	15.4	23	66	-	-	-	-

Depth cm	pH	CEC CaCl ₂ pot.	CEC eff.	Exchangeable cations					Weatherable			Available		
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H+ Al	Ca _w %	Mg _w %	K _w %	P _w g/kg	K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
0-20	7.1	1101	1101	1054	40	4.0	3.0	0	8.2	0.41	0.35	2.1	127	8.8
20-35	7.2	1524	1393	1329	58	2.2	3.1	0	16.2	0.26	0.07	1.0	108	0.8
35-60	7.2	1588	1355	1292	57	2.0	3.9	0	7.8	0.17	0.03	0.5	47	0.1
60-70	7.3	518	518	482	34	0.6	1.1	0	33.3	0.24	0.01	0.1	45	0.3
70-82	7.2	847	848	796	46	2.3	2.2	0	14.3	0.47	0.23	1.0	79	1.5

Depth cm	Total contents							Clay minerals fraction < 2µm			
	Fe _t g/kg	Ca _t g/kg	Mg _t g/kg	K _t g/kg	Ti _t g/kg	Zr _t g/kg	Ti/Zr	Kao %	Illite %	Sm %	Chl %
0-20	59.7	87	3.4	10.0	2.82	0.18	16	18	10	68	4
20-35	41.1	167	2.0	2.8	0.69	0.07	9	-	-	-	-
35-60	73.2	111	0.9	1.4	0.34	0.05	7	-	-	-	-
60-70	24.5	295	3.6	0.5	0.08	0.03	2	15	12	66	7
70-82	52.2	133	4.0	7.1	1.68	0.13	13	-	-	-	-

The actual vegetation of Goldberg/Langenberg nature reserve and the surrounding (R. Böcker)

The vegetation inside the Ries is mostly formed of anthropogenic weed associations within the cultivated fields. The diversity is very poor due to the fact that these are very productive stands and are managed with herbicide and pesticides – the yields are very high on these loess-soils. Inside the villages only small patches of ruderal vegetation occur. But very famous are the forests on the steep slopes of the crater edges and limestone outcrops.

The forests are orchid-beech-woods containing lots of rare species as *Orchis mascula*, *Epipactis helleborine*, *Cypripedium calceolus*, *Cephalanthera alba*, *C. longifolia*, *C. rubra* and sedges like *Carex ornithopoda*, *C. flacca*, *C. digitata* and *C. humilis* on open spots with *Laserpitium siler*. The ravins are covered with species rich maple-ash-forests of high productivity.

Inside the crater some limestone outcrops like the Goldberg and Langenberg near Kirchheim/Ries are of high botanical interest. A mixed pattern of dry lawn, limestone gravel, ruderal sites, hay meadows and in the lower parts crop fields causes a high diversity as well in species as in plant communities.

At the top of the Goldberg dry lawns of the Mesobromion with Gentiano-Koelerietum are species rich vegetation covers which is normally extensively used by sheep grazing. As an example one relevé is given. 14. Mai 2002, exposition north, inclination 14°, 500 m asl.: *Sanguisorba minor* 2, *Primula veris* 2, *Plantago media* 2, *Achillea millefolium* 1, *Salvia pratensis* +, *Trifolium montanum* 1, *Hippocrepis*

comosa 1, *Helianthemum nummularium* 2, *Scabiosa columbaria* 1, *Carlina acaulis* +, *Taraxacum officinale* +, *Potentilla tabernaemontani* +, *Agrimonia eupatoria* +, *Thymus pulegioides* 1, *Prunella grandiflora* 1, *Cerastium arvense* +, *Ranunculus bulbosus* +, *Galium pumilum* r, *Potentilla heptaphylla* +, *Leucanthemum vulgare* r, *Senecio erucifolius* r, *Pimpinella saxifraga* r, *Bromus erectus* 3, *Festuca rubra* 2, *Festuca ovina* agg. 1, *Festuca pratensis* +, *Helictotrichion pretense* +, *Koeleria pyramidata* 1, *Briza media* +, *Brachypodium pinnatum* 1. Total cover higher plants 75%, bryophyte layer 80%. (Numbers correspond to the scale of Braun-Blanquet).

B-02: Hopfenland Hallertau: Hopfenanbau - Böden - Erosionsschutz

Robert Brandhuber, Johann Portner, Tobias Graf, Roswitha Walter

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Einleitung

Die 1-Tagesexkursion führt durch das Hopfenanbaugebiet Hallertau. Über die A 9 und A 93 wird in ca. 1 Stunde der erste Exkursionspunkt bei Aiglsbach erreicht (Abb. 1). Erosionsschutz im Hopfen und die Vorstellung einer Hangcatena bilden dort den Schwerpunkt. In Hüll, dem zweiten Exkursionspunkt, wird das dortige Hopfenforschungszentrum besucht. Den Abschluss bildet die Wurzelausgrabung einer Hopfenpflanze bei Mühlhausen am Rand des Donautals, verbunden mit Informationen zur Bewässerung von Hopfen.

und aromareichen Hopfendolden haben. Aus den Blüten im Juli werden bis Ende August die reifen Dolden, 5.000 - 10.000 Dolden pro Rebe. Für 100 l Bier werden im Durchschnitt ca. 100 g Hopfen benötigt. Die Erntemenge einer Hopfenpflanze reicht für 400 l Bier. Von einem Hektar wird Hopfen für ca. 15.000 hl Bier produziert.

Hopfen wird vegetativ vermehrt. Aus Teilen des Wurzelstockes werden neue Jungpflanzen („Fechser“) herangezogen. Sie kommen erst im dritten Jahr nach der Anpflanzung zum vollen Ertrag.

Auf einem Hektar Hopfen werden je nach Sorte zwischen 3.600 und 4.500 Hopfenpflanzen angebaut. Ihre Lebensdauer beträgt bis zu 50 Jahren. Die Gerüstanlage im „Hopfengarten“ ist 7 m hoch. 165 Masten sind pro Hektar erforderlich. Anfang Mai wird der Hopfen per Hand an die Aufleitdrähte angeleitet. Nach 70 Tagen hat die Pflanze bereits die Gerüsthöhe von 7 m erreicht. Das bedeutet ein durchschnittliches Wachstum von 10 cm pro Tag.

Die Hallertau (oder Holledau) ist das größte zusammenhängende Hopfenanbaugebiet der Welt. Es wird grob von den Städten Ingolstadt, Kelheim, Landshut, Moosburg, Freising und Schrobenhausen begrenzt. Eine exakte Eingrenzung ist nicht möglich, das verbindende Kriterium ist der Hopfenanbau. Das Kerngebiet mit Flächenanteilen von 20 bis 40 % Hopfen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche liegt im Gebiet um die Ortschaften Siegenburg, Au, Wolzach, Mainburg und Geisenfeld (Abb. 2). Dort prägen die Hopfengärten das Landschaftsbild (Abb. 3). Die nördliche Grenze ist ungefähr die Donau, seit der Eingliederung des Siegelbezirks Altmannstein wird aber auch nördlich der Donau Hallertauer Hopfen angebaut. Die rechten Nebenflüsse der Donau Paar, Ilm, Abens und Große Laber sowie die



Abb. 1: Fahrtroute in das Exkursionsgebiet Hallertau

Beschreibung des Exkursionsgebiets

Hopfenanbau in der Hallertau: Der Hopfen (*Humulus lupulus*) gehört zur Familie der Hanfgewächse (Cannabaceae). Er ist zweihäusig mit weiblichen und männlichen Pflanzen. Im Anbau befinden sich nur die weiblichen Hopfenpflanzen, da nur sie die lupulinhaltigen

Kleine Lauer durchfließen das Gebiet.

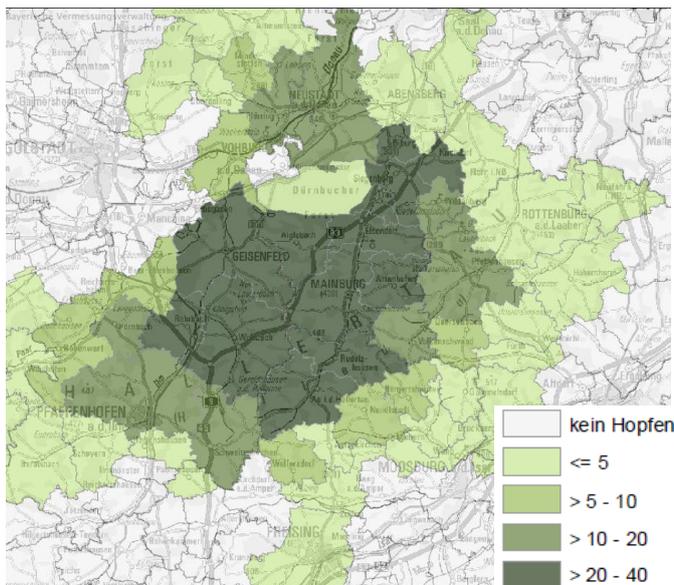


Abb. 2: Umriss der Gemeinden mit Hopfenanbau in der Hallertau und Anteil von Hopfen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (%)



Abb. 3: Die Ortschaft Hüll mit Hopfenforschungszentrum und umliegenden Hopfengärten zum Ende der Hopfernte Anfang September

Die ursprüngliche Bedeutung des seit dem 14. Jahrhundert gebräuchlichen Namens ist nicht völlig geklärt. Am wahrscheinlichsten ist die Zusammensetzung aus den althochdeutschen Wörtern „Hardt“ (= Wald) und „hall“, ablautend von „helan“ (= verbergen, hehlen), zu „Hal hart“, also einem Wald, der sein Inneres verbirgt, ein wilder Urwald, dem noch der Flurname „Au“ angehängt wurde.

Der Hopfenanbau in der Region ist seit dem 8. Jahrhundert belegt. Im Jahr 736 sollen kriegsgefangene Wenden – ein slawischer Volksstamm – auf Geisenfelder Boden den ersten Hallertauer Hopfengarten angelegt haben. Bis

Anfang des 19. Jahrhunderts war die Region um Spalt bei Nürnberg das Hauptanbauggebiet in der Region. Erst nach der Bauernbefreiung waren ab 1848 die Voraussetzungen für eine Produktionssteigerung in der Hallertau erfüllt. Seit 1912 ist die Hallertau das größte Hopfenanbauggebiet in Deutschland. Um die Dolden von den Reben abzutrennen, kamen in Spitzenzeiten an die 100.000 „Hopfenzupfer“ aus den strukturschwachen Gebieten der Oberpfalz, dem Bayerischen Wald und dem Donaumoos um Ingolstadt in die Hallertau. Als in der Zeit des Wirtschaftswachstums die Arbeitskräfte rar wurden, erfolgte ab den 1950er Jahren die Einführung von mechanischen Pflückmaschinen. Seit 1967 wird der Hopfen komplett maschinell geerntet.

Heute wird der Anbau von Hopfen nahezu ausschließlich von Familienbetrieben bewerkstelligt. In der Wachstumsphase zum Ausschneiden und „Anleiten“ und während der Ernte werden Helfer zumeist aus Osteuropa beschäftigt. Zur Bewirtschaftung von 1 ha Hopfen sind heute bis zu 300 Arbeitskräftestunden notwendig. Vor 40 Jahren wurden noch 2.000 - 3.000 Stunden gebraucht.

Die Zahl der Pflanzbetriebe weist seit 1980 wegen des gesunkenen Durchschnittspreises für Hopfen und der daraus resultierenden geringeren Rentabilität von Hopfenanbau im Nebenerwerb stark fallende Tendenz auf. Auch die bewirtschaftete Hopfenfläche in der Region ging in diesem Zeitraum zurück.

Die Zahl der bayerischen Hopfenbaubetriebe lag 2013 bei etwas über 1.000. 2013 bewirtschaftete ein Betrieb im Durchschnitt 12,7 ha Hopfen (Tab. 1). Die bayerische Hopfenfläche umfasst 14.443 ha (14.086 ha im Anbauggebiet Hallertau); weltweit wird auf 46.500 ha Hopfen angebaut.

Die Rückverfolgbarkeit des Hopfens von der Brauerei zum Erzeuger ist in Deutschland seit langem gesetzlich geregelt. Zur Identifizierung erhält jedes Verpackungsgebilde auf dem Betrieb ein Klebesiegel mit einer eigenen Nummer. Bei der Zertifizierung werden vom Hopfenring von jeder Partie Muster für die neutrale Qualitätsfeststellung gezogen. Das Untersuchungsergebnis eines unabhängigen Labors

wird in Form von Zu- oder Abschlägen bei der Bezahlung berücksichtigt.

Tab. 1: Struktur des Hopfenanbaus in Bayern (Quelle: Bayerischer Agrarbericht, 2014)

Anbaujahr	Betriebe	Hopfenfläche (ha)	Hopfenfläche je Betrieb (ha)	Erntemenge (t)	Ertrag (t/ha)
1980	5.212	16.786	3,22	25.655	1,53
1990	3.704	18.648	5,03	25.758	1,38
2000	1.860	15.646	8,41	25.946	1,66
2010	1.240	15.769	12,72	29.779	1,89
2013	1.053	14.443	12,72	23.586	1,63

Die bayerischen Hopfenpflanzer erzeugen rd. 30 % des Hopfens weltweit. Vermarktet wird der Hopfen überwiegend von drei Handels- und Verarbeitungsfirmen, die zusammen am Weltmarkt einen Anteil von über 70 % halten.

Auch auf der Abnehmerseite ist eine immer größere Konzentration zu verzeichnen. Die zehn größten Brauereikonzerne produzieren weltweit etwa zwei Drittel des Bieres. Der Weltbierausstoß stieg in den letzten beiden Jahren kontinuierlich an und beträgt jetzt knapp 2 Mrd. Hektoliter. Auch die weltweite Entwicklung zu sinkenden Hopfengaben pro Hektoliter Bier (derzeit 4,3 g Alphasäure pro Hektoliter Bier) scheint gestoppt. Die Verwendung von Flavor-Hopfen und der Trend zu hopfenbetonten Bieren mit individuellen Geschmacksnoten hat Hopfen wieder an Bedeutung gewinnen lassen.

Die Wahl eines geeigneten Standortes ist die erste Voraussetzung für einen ertragreichen Hopfengarten. Der Hopfen verlangt einen gut durchwurzelbaren, tiefgründigen Boden mit guter Wasserführung. Als ursprüngliche Auenpflanze stellt Hopfen hohe Ansprüche an die Wasserversorgung. Da der Hopfengarten für Pflanzenschutzmaßnahmen sehr oft befahren werden muss, ist auch die Befahrbarkeit wichtig. Diese Voraussetzungen sind auf leichteren Böden besser erfüllt als auf schweren. Auch erwärmen sich leichte Böden besser. Für den Hopfenanbau sind deshalb neben Löss besonders lehmige Sand- bis sandige Lehmböden geeignet. Auf staunassen Böden sollte kein Hopfengarten angelegt werden.

Quellen zum Kapitel „Hopfenanbau in der Hallertau“: Bayerischer Agrarbericht, 2014; Grünes Heft, 2014; Hopfenpflanzerverband Hallertau e.V., 2015; Widmann, 1966; WIKIPEDIA (Stichwort Hallertau, Aufruf am 10.01.2015)

Naturraum, Geologie, Böden: Auf der Fahrt von München verlässt der Bus kurz vor der Raststätte Fürholzen die Münchner Schotterebene und fährt über eine markante Hangkante ins Tertiärhügelland. Dessen nördliche Grenze entspricht grob dem Verlauf des Donautals. Der letzte Exkursionspunkt liegt bereits im Donautal. Ansonsten bewegt sich die Exkursion im Bereich des Tertiärhügellands, naturräumlich im Donau-Isar-Hügelland. Nach der Standortkundlichen Landschaftsgliederung von Bayern (Wittmann, 1983) ist das Exkursionsgebiet überwiegend dem „Niederbayerischen Tertiärhügelland, wärmer, lösslehmreich“ zuzuordnen, im Bereich etwa nördlich der Autobahn A 93 dem „Oberbayerischen Tertiärhügelland, sandig“.



Abb. 4: Geologische Übersicht Hallertau (Ausschnitt aus der GK 500)

Prägende Sedimente (Abb. 4) sind die miozänen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (OS = Obere Süßwassermolasse, ungegliedert, Ton, Schluff, Mergel, Sand, i. E. auch Kies; OSjG und OSaG = kiesführend, jüngerer (j) und älterer (a) Teil), am südlichen Rand des Donautals auch die Nordfazies des

Braunkohlentertiärs im Molassebecken (miB), sowie pleistozäner Löss (qL), im Raum Abensberg / Neustadt / Siegenburg auch Flugsand.

Die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse setzen sich aus wechsellagernden grob- und feinkörnigen Lockersedimenten zusammen. Der oft rasche fazielle Wechsel in der Sedimentfolge der OSM ist auf die bei der Schüttung sich laufend ändernden Sedimentationsbedingungen zurückzuführen. Die für das Tertiärhügelland typischen, in unterschiedlichen Höhenlagen auftretenden Schichtquellen sind auf die Wechsellagerung von wasserführenden und wasserstauenden Sedimenten zurückzuführen.

Während der pleistozänen Kaltzeiten lag das Tertiärhügelland im periglazialen Bereich. Im Frostwechselklima entwickelte sich durch Abspülung und Bodenfließen sowie durch Tiefen- und Seitenerosion der Fließgewässer ein reichverzweigtes Talnetz. Es gliederte die Landschaft in eine Vielzahl von Höhenrücken und Hügel, die sich durchschnittlich 30-50 m über die Talsohlen erheben. Periglazialen Ursprungs ist auch die für das Relief des Tertiärhügellands typische Asymmetrie der Talquerschnitte mit bevorzugt westexponierten, bewaldeten Steilhängen und ostexponierten, ackerbaulich genutzten Flachhängen. Ihre Entstehung wird durch die Solifluktion älterer Lehmdecken und die äolische Ablagerung schluffreicher Deckschichten im Lee der ostexponierten Hänge wohl am besten erklärt. Die Lösslehme können hier Mächtigkeiten von mehreren Metern, im Einzelfall bis zu 10 m erreichen.

Lösse (carbonathaltig) sind in ihrer regionalen Verbreitung an die Entfernung zu den Hauptlieferanten, den glazifluviatilen Schotterfluren gebunden, d.h. in der Hallertau zum Donautal (Standort 1) oder zur Isar. Erosion auf Acker und in Hopfengärten hat vielerorts die holozäne Bodenbildung (Al- und Bt-Horizonte der Parabraunerden) abgetragen und den carbonathaltigen Primärlöss freigelegt. Entsprechend werden neben der Parabraunerde mit voll entwickelter Horizontfolge je nach Erosionsgrad alle Zwischenstufen bis hin zur Pararendzina angetroffen. In den am stärksten

von Erosion geprägten Gebieten kann man im Extremfall nur Erosions- und Akkumulationsböden unterscheiden (Exkursionspunkt 1).

An der Bildung der weit verbreiteten carbonatfreien Lösslehmdecken haben periglaziale Verwitterungs- und Verlagerungsvorgänge (syn- bzw. postsedimentär), an der Entstehung prä-würmzeitlicher Lösslehme auch die Bodenbildungsprozesse vorausgegangener Interglaziale entscheidenden Anteil. Die Lösslehme haben ihre größte Verbreitung in den flusstalferneren Gebieten der lösslehmreichen bzw. der lösslehmbeeinflussten Teillandschaften des Tertiärhügellandes. Charakteristisch für typische Lösslehme sind schwache bis mäßig starke, zumeist fossile Staunässemerkmale. Im Bodenprofil sind häufig Mehrschichtprofile aus Lösslehm über Lösslehmfließerde anzutreffen.

Südlich der Donau im Gebiet zwischen Abensberg und Neustadt sind Überdeckungen mit Flugsand häufig (Exkursionspunkt 3). Geröllführende Sande bilden den Untergrund (jungtertiäre Deltaschüttungen der Ur-Naab (miB) mit vielfach gegliederten pleistozänen Schottern der Donau sowie der Abens unter wiederholter, teils großräumiger Verlagerung der quartärzeitlichen Flussläufe vor allem in der Riß-Kaltzeit) und im Wesentlichen auch das Ausgangsmaterial für die Flugsande. Die Flugsande wurden entweder zu bis mehrere Meter hohen Dünen zusammengeweht oder sie überlagern als wenige Dezimeter mächtige Decken (Flugsandfelder) die anstehenden Sande. Dünen und Flugsandfelder dürften überwiegend im ausgehenden Würmglazial (Spätglazial und Jüngere Dryaszeit) angeweht worden sein. Völkel et al. (2011) haben nachgewiesen, dass im Holozän wiederholt Remobilisierungsphasen mit Sandverdriftung und Dünenaufwehung auftraten, bedingt durch Übernutzung der Kulturlandschaft.

Bodenerosion. Das Tertiärhügelland ist das am stärksten erosionsgefährdete Gebiet in Bayern (Abb. 5). Ursache ist das Zusammenreffen von Hanglagen, zur Verschlammung neigenden Böden, Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Mais und Dauerkulturen wie Hopfen oder auch Spargel (Brandhuber & Treisch, 2012). Nach Starkregen kommt es vor allem im

Mai / Juni immer wieder zu Abschwemmungen, wie eine jüngst im Tertiärhügelland durchgeführte Feldstudie bestätigte (Kistler et al., 2013). Deshalb sind Bemühungen, das Erosionsrisiko durch ackerbauliche Maßnahmen zurückzudrängen, von hoher Bedeutung.

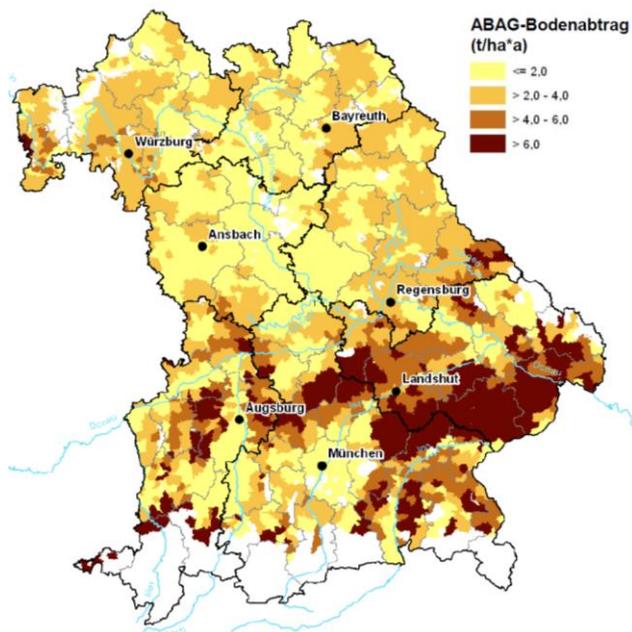


Abb. 5: Mittlerer jährlicher Bodenabtrag von Ackerflächen (Quelle: Erosionsatlas Bayern, www.lfl.bayern.de/iab/boden/)

Klima: Gesicherte Hopfenerträge und gute Inhaltsstoffbildung (Alphasäuren) werden vom Klima maßgebend beeinflusst. Günstig sind Frostfreiheit von Ende April bis Mitte September, gemäßigter Sonnenschein (keine Hitzeperioden), reichlicher Niederschlag im Sommer (ca. 100 mm pro Monat im Juni, Juli und August) und windgeschützte Lagen (Hopfenpflanzerverband Hallertau, 2015).

Für das Exkursionsgebiet wurden Temperatur- und Niederschlagsdaten der LfL-Klimamessstation Hüll (Exkursionspunkt 2) exemplarisch in Abb. 6 zusammengefasst. Die Station liegt auf 465 m Höhe. Für das Tertiärhügelland vertritt sie klimatische Verhältnisse mit relativ hohen Niederschlägen. Nach Norden in Richtung Donautal nehmen die Niederschläge etwas ab. Augenfällig ist die starke Schwankungsbreite der Jahresniederschläge von 500 bis 1000 mm. Für den Zeitraum 1997 – 2014 ergibt sich eine mittlere Jahresniederschlags-summe von 835 mm/a, die Jahresmitteltemperatur beträgt 8,8 °C. 2014 war mit 9,8 °C das

wärmste Jahr in der Zeitreihe.

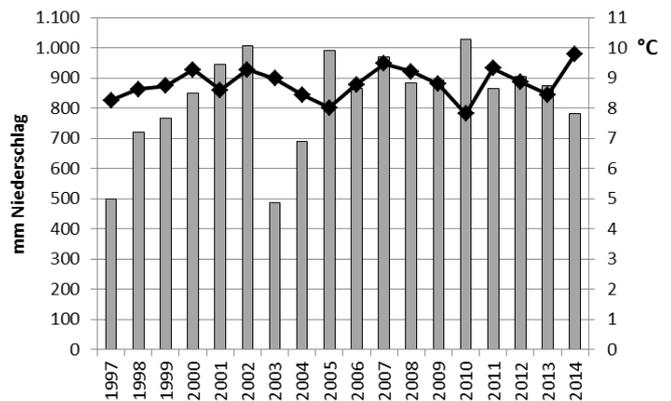


Abb. 6: Jahresniederschlagssummen (Säulen) und mittlere Jahrestemperaturen (Linie) von 1997 bis 2014 an der LfL-Wetterstation Hüll bei Wolnzach

Station 1: Hopfengarten Aiglsbach: Erosionsschutz, Hangcatena

Standort und Boden: Der Hopfengarten liegt an einem nordnordostexponierten Hang (Abb. 7) zwischen der Ortschaft Aiglsbach und der gleichnamigen Autobahnausfahrt der A 93.

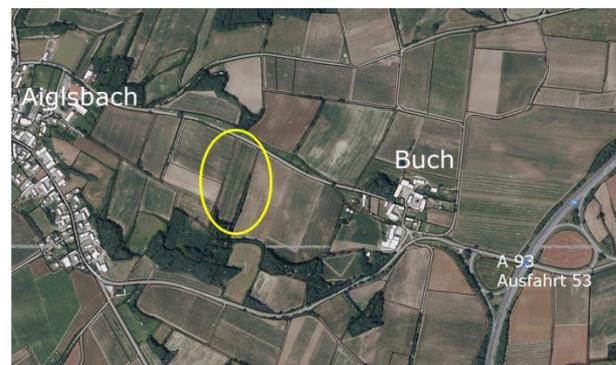


Abb. 7: Luftbild zum Exkursionspunkt 1 (Oval)

Die Bodenkarte (Abb. 8) zeigt eine Pararendzina aus Löss (3a), also einen stark durch Erosion geprägten Standort. Am Hangfuß folgt ein Kolluvisol (12a). Im Umfeld treten Parabraunerden und Braunerden aus Lösslehm über Löss auf (4a), außerdem Bodenbildungen aus tertiären Sedimenten, nämlich Braunerden aus kiesführendem Lehmsand (47) und Braunerden aus Lehmsand bis Sandlehm (48a).

Im Klassenbescrieb der Bodenschätzung ist der Hopfengarten von unten (Straße) nach oben (Wald) mit L3DLö 73/69, sL3DLö 66/58 und sL4Lö 60/54 eingestuft.

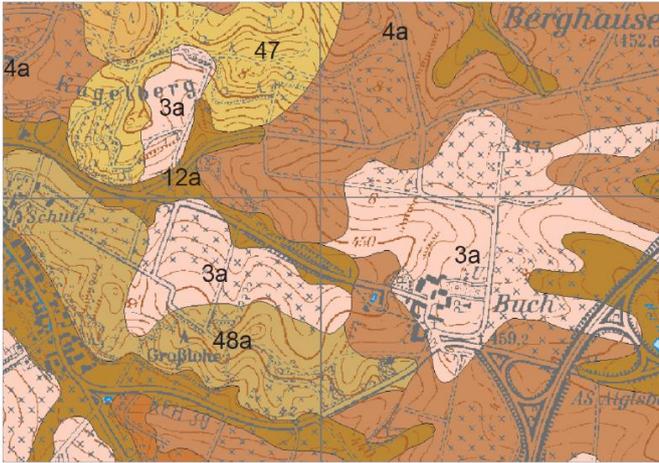


Abb. 8: Ausschnitt aus der Übersichts-Bodenkarte 1:25.000, Blatt 7336 Mainburg

Im Hang wird zur Exkursion eine Abfolge von 4 Bodenprofilen (Catena) aufgegraben und präsentiert. Unter anderem werden Analysen zu Kupfergehalten in den Böden vorliegen, die Hinweise auf erosionsbedingte Bodenverlagerungen geben können.

Erosionsschutz: Am Standort wurde im Jahr 2012 ein Feldversuch mit Variationen des Einsaat- und Einarbeitungszeitpunkts der Zwischenfrucht in Hopfen angelegt (Abb. 9 und 10). Sieben Varianten mit Sommer- und Herbsteinsaat der Zwischenfrucht werden mit einer Variante ohne Begrünung verglichen.

Untersucht werden Erträge, physikalische Bodenparameter (Bodenfeuchte, Eindringwiderstand, Aggregatstabilität) und Regenwurmvorkommen. Für die Akzeptanz von Verfahren mit möglichst dauerhafter Begrünung spielen mögliche Ertragseffekte durch Wasserkonkurrenz der Zwischenfrucht eine wichtige Rolle.



Abb. 9: Abschwemmungen aus dem Hopfengarten in der Variante ohne Begrünung zwischen den Reihen

Die Eindringwiderstandsmessungen mit einem Penetrologger im August 2014 in zwei Varianten mit Wintereinsaat der Zwischenfrucht und in der Variante ohne Begrünung spiegeln im Wesentlichen die Bodenfeuchteverhältnisse wider (Abb. 11). Gemessen wurde zwischen den Dammsreihen außerhalb der Fahrspuren. Die beiden Zwischenfruchtvarianten sind in der Tiefe bis 80 cm etwas feuchter, der Eindringwiderstand ist deutlich niedriger als in der Variante ohne Begrünung. Die vorausgegangenen Niederschläge konnten in den blanken und verschlammten Boden offensichtlich weniger gut eindringen, oberflächlich ist mehr abgeflossen mit den damit verbundenen Anschwemmungen am Hangfuß.



Abb. 10: Mulchen der Begrünung zwischen den Hopfenreihen

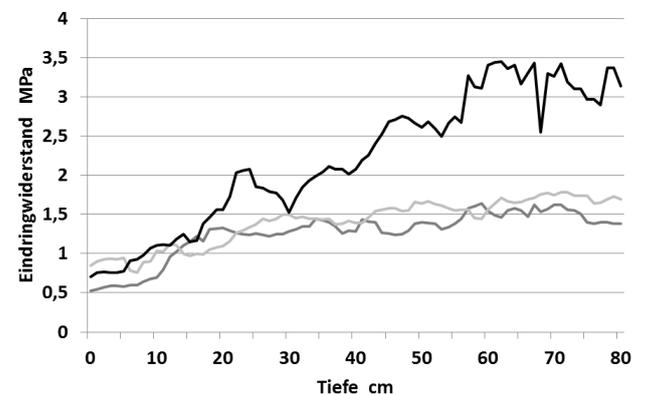


Abb. 11: Eindringwiderstand (18.8.2014) in der Variante ohne Begrünung (schwarz) und in zwei Varianten mit Begrünung (hell-, dunkelgrau) zwischen den Dammsreihen

Die Begrünung wirkte sich deutlich positiv auf

den Regenwurmbestand aus (Abb. 12). Beide Varianten mit Herbstsaat der Zwischenfrucht (V 2-3 und 2-4) wiesen eine doppelt so hohe Individuendichte und eine ca. 4-fach höhere Biomasse der Regenwürmer auf als die Variante ohne Einsaat (V 3-1). Zwischen den beiden Winterbegrünungsvarianten wurden keine Unterschiede erfasst. In den Begrünungsvarianten war der Regenwurmbestand auf dem Weg zwischen der Fahrspur deutlich höher als auf den Dämmen.

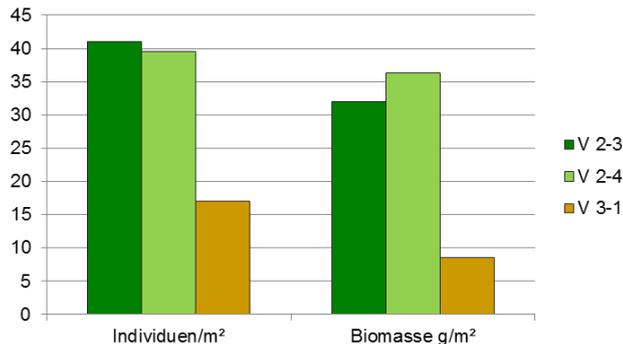


Abb. 12: Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer mit (V 2-3 und V 2-4) und ohne Winterbegrünung im Feldversuch Aigsbach, September 2014 (Mittelwerte, n = 8 Stichproben)

Station 2: Hopfenforschungszentrum Hüll

Das Hopfenforschungszentrum Hüll (Luftbild in Abb. 3) ist eine gemeinsame Einrichtung der privaten Gesellschaft für Hopfenforschung e.V. und des Freistaats Bayern, die in Hüll bei Wolnzach im Zentrum der Hallertau angesiedelt ist. Sie ist weltweit die bedeutendste Forschungseinrichtung zu allen Fragen rund um die Sonderkultur Hopfen.

Die Initialzündung für die Gründung eines Hopfenforschungsinstitutes in der Hallertau entstand in den 1920er-Jahren, als Falscher Mehltau (*Pseudoperonospora humuli*) die Ernten in der Region praktisch völlig vernichtete. Darum wurde auf Betreiben der Brauereiwirtschaft im Jahr 1926 die Gesellschaft für Hopfenforschung gegründet und das Gut Hüll als Sitz eines Forschungsinstitutes erworben.

Seit den 1970er-Jahren ist der Freistaat Bayern am Forschungszentrum per Kooperationsvertrag beteiligt. Heute ist es in die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft und dort in das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung eingegliedert.

Mit Stand 2009 werden auf 81 % der deutschen Hopfenanbauflächen Züchtungen aus Hüll angebaut. Aktuell von wirtschaftlicher Bedeutung sind die Bittersorten Hallertauer Magnum (Anbaufläche in Deutschland 2009: 4.265 ha), Herkules (2.387 ha) und Hallertauer Taurus (1.106 ha) sowie die Aromasorten Perle (3.376 ha), Hallertauer Tradition (2.605 ha), Spalter Select (836 ha) und Saphir (185 ha).

Die Exkursionsteilnehmer erhalten einen Einblick in die Forschungstätigkeiten des Forschungszentrums Hüll und in die Besonderheiten des Hopfenanbaus, der Hopfenvermarktung und Hopfenzüchtung.

Station 3: Mühlhausen: Wurzelausgrabung - Bewässerung

Beschreibung des Standorts: Der Standort liegt nordwestlich von Mühlhausen beim Gehöft Karpfenstein (Ortsteil von Neustadt a.d. Donau) in ebener Lage am südlichen Rand des Donautals (Abb. 13). In der Übersichtsbodenkarte ist eine Braunderde aus Sand (Flugsand), ausgewiesen (Legendeneinheit 1a, Abb. 14). Das Ausgangsmaterial dieser Kartiereinheit, Sand überwiegend tertiären Ursprungs, wurde in der ausgehenden Würmkaltzeit angeweht. Das südlich und südwestlich anschließende Gebiet mit (Flug-)Sandböden ist großteils forstlich genutzt; der Dürnbucher Forst ist eines der größten geschlossenen Waldgebiete Bayerns.

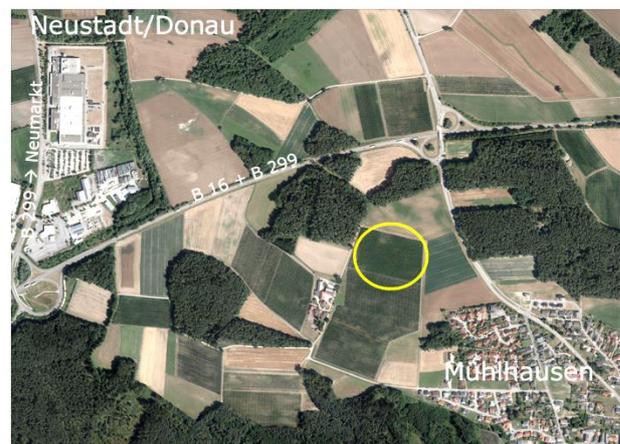
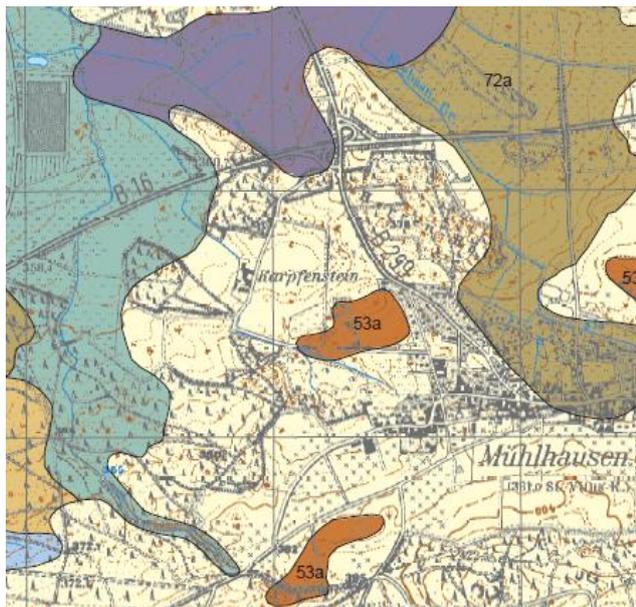


Abb. 13: Lage der Fläche bei Mühlhausen an der B 16 / B 299 (Oval)

Die Bodenart in 0-30 cm Tiefe ist ein schwach toniger Sand (St2), in 30-60 cm Tiefe reiner

Sand (Ss), ohne Kiesgehalt (Tab. 2). Dies spricht für die äolische Herkunft (Flugsand).



1a	Fast ausschließlich Braunerde, unter Wald meist podsolig, aus Sand (Flugsand)
53a	Vorherrschend Pelosol-Braunerde, gering verbreitet Braunerde-Pelosol (pseudovergleyt) aus Lehm bis Schluffton (Deckschicht) über Lehmtun, selten Pelosol aus Lehmtun (Molasse)

Abb. 14: Ausschnitt aus der Übersichts-Bodenkarte 1:25.000, Blatt 7236 Münchsmünster

Tab. 2: Anteile an Ton, Schluff und Sand im Hopfengarten am Standort der Wurzel ausgrabung

Tiefe (cm)	Ton (%)	Schluff (%)	Sand (%)
0 – 30	6,2	7,2	86,6
30 - 60	1,8	2,5	95,7

Im Klassenbescrieb der Bodenschätzung ist der Hopfengarten mit S4D 22/22 eingestuft, also eine Einstufung am unteren Ende der Ackernutzung. Der flächengewichtete Mittelwert der Ackerzahlen von Flächen mit aktueller landwirtschaftlicher Nutzung liegt in Bayern bei 47, im Landkreis Kelheim bei 51.

Im Umfeld des Standorts sind in der Bodenkarte (Abb. 15) inselartig Areale mit Lehm über Lehmtun (Molasse) ausgewiesen, auf denen sich Pelosol-Braunerden gebildet haben. Die braun, violett und stahlblau gekennzeichneten Böden (72a,b,c) sind Gleye (mit Übergangsformen) aus Talsedimenten (Donautal).

Wurzelsystem von Hopfen – Wurzel ausgrabung: Für die Optimierung von Bodenbearbeitung, Düngung und Bewässerung sind genaue-

re Kenntnisse über die Wurzelentwicklung von Hopfen von Bedeutung. Im Rahmen eines von der DBU geförderten Projekts zur Hopfenbewässerung wurde am Standort Mühlhausen eine Wurzel ausgrabung durchgeführt. Die Ergebnisse (Graf et al., 2014) zeigen, dass das Wurzelsystem von Hopfen in drei Teile unterteilt werden kann: Adventivwurzeln („Sommerwurzeln“) im Damm, eine Scheibe um den Wurzelstock mit horizontal wachsenden Wurzeln und ein Block von vertikalen Wurzeln, die sich nach unten entwickeln (Abb. 15). Die in die Breite wie auch in die Tiefe ausgerichteten Wurzeln sind teils mehrjährig, teils frisch gewachsen. Das durchwurzelte Bodenvolumen des ausgegrabenen Hopfenstocks betrug etwa 4 m³.

Bewässerung im Hopfenbau: In den vergangenen Jahren konnte bereits in mehreren Versuchen gezeigt werden, dass speziell in niederschlagsarmen Jahren eine Zusatzbewässerung ertragsstabilisierend wirken kann. Hierfür kamen zum größten Teil Tropfschläuche zum Einsatz.

Erste Konzepte zur Bewässerungssteuerung werden evaluiert. So wird neben dem Einsatz von Saugspannungsfühlern mit vorgegebenen Schwellenwerten auch der Einsatz von klimatischen Modellrechnungen als objektive Steuerungsmöglichkeit untersucht. Derzeit können etwa 3.000 ha Hopfen bewässert werden.

Am Standort Mühlhausen werden Ergebnisse aus dem DBU-Projekt *Optimierung der Tröpfchenbewässerung im Hopfenbau* vorgestellt. Durch Tropfbewässerung soll die optimale Pflanzenentwicklung dadurch gesichert werden, dass einerseits eine optimale Bodenfeuchte im Hauptwurzelbereich gehalten wird und andererseits eine ausreichende Wasserversorgung in witterungsbedingten Stresssituationen für die Pflanze zur Verfügung steht, ohne dabei Nährstoffe aus dem Boden ins Grundwasser auszuwaschen.

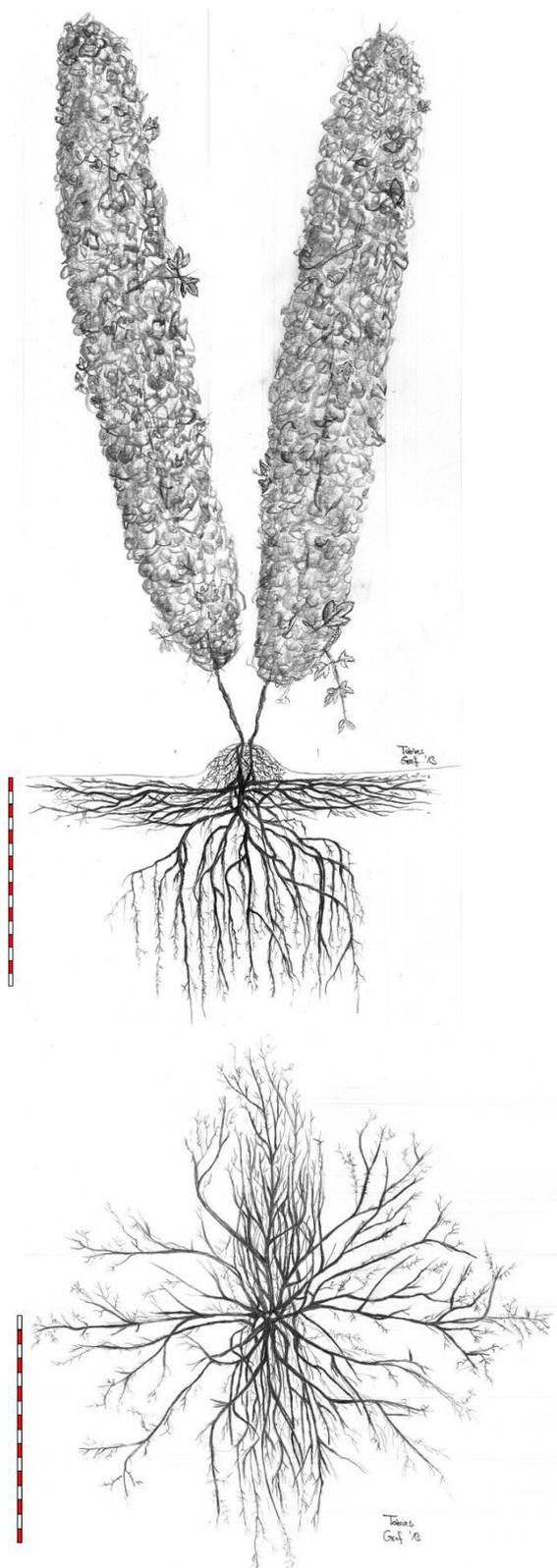


Abb. 15: Wurzelsystem einer Hopfenpflanze im 6. Standjahr, gezeichnet anhand einer Ausgrabung am Exkursionsstandort Mühlhausen, Querschnitt und Aufsicht, Messlatte 1,6 m (Graf et al., 2014)

Literatur

- Bayerischer Agrarbericht 2014: <http://www.agrarbericht-2014.bayern.de/politik-strategien/index.html>
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1968): Geologische Karte von Bayern 1:25.000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 7136 Neustadt a. d. Donau. Verlag Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.) (1992): Die Böden Bayerns. Datenhandbuch für die Böden des Tertiärhügellandes, der Iller-Lech-Platte und des Donautales. Verlag Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Brandhuber, R., Treisch, M. (2012): Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: Vergleich 2005 mit 2011. Tagungsband zu den 7. Makrtredwitzer Bodenschutztagen, 136-141
- Graf, T., Beck, M., Mauermeier, M., Ismann, D., Portner, J., Doleschel, P., Schmidhalter, U. (2014): *Humulus lupulus* – the hidden half. *BrewingScience* 67 (11/12): 161-166
- Grünes Heft 2014, Fachinformationen der LfL zum Hopfen www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/grünes_heft_2014.pdf, Aufruf am 12.01.2015
- Hopfenpflanzerverband Hallertau e.V. (2015): Hopfen-Infos, www.hallertauerhopfen.de/, Aufruf am 12.01.2015
- Kistler, M., Brandhuber, R., Maier, H. (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen – Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8 / 2013, 113 S.
- Völkel, J., Leopold, M., Dötterl, S., Schneider, A., Hürkamp, K., Hilgers, A. (2001): Origin and age of the Lower Bavarian sand dune landscape around Abensberg and Siegenburg. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 55 (4): 515-536
- Widmann, W. (1966): Von München zur Donau – Landschaft, Geschichte, Kultur, Kunst. Bibliothek zur Deutschen Landeskunde, Verlag Glock und Lutz, Nürnberg
- Wittmann, O. (1983): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern. Materialien 21, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München

B-03: Karstmorphologie und Bodengeneese am Untersberg-plateau (Berchtesgadener Alpen)

Carola Kufmann¹, Christine Mix¹

¹ Department für Geographie und Landschaftsökologie, Luisenstraße 37, 80333 München

Zielsetzung der Exkursion

Die Exkursion auf den Untersberg führt in den klassischen Hochgebirgskarst eines Plateaugebirges wie es typisch ist für die östlichen Kalkhochalpen (Abb. 1).



Abb. 1: Karsthochfläche des Untersberg mit typischen Elementen des geneigten Schichtflächen- und Schichtkopfkaraktes (Blickrichtung Salzburger Hochthron nach SW).

Geomorphologische Grundzüge der Reliefgenese in Abhängigkeit von Geotektonik und Verwitterungsdynamik werden mit Schwerpunkt auf die aktuellen Forschungsarbeiten im subalpinen Dolinenkarst erläutert. Pedologisch liegt der Fokus unter Einbeziehen der subalpinen und alpinen Vegetationsgesellschaften auf dem Karstökosystem, das ein Spektrum an lithogen-organogenen, organogenen und minerogenen Bodentypen, Subtypen und Varietäten aufweist. Die Einflussfaktoren der Bodenbildung an diesen kleingekammerten Sonderstandorten agieren im Spannungsfeld zwischen Geologie, Mikrorelief und –klima. Bemerkenswert ist die starke Beteiligung von äolisch-allochthonem Silikatsubstrat, das durch rezente Verstaubung der Oberbodenhorizonte

eine Braunerde-(Cambisol)-Dynamik initiiert. Die Staubquantifizierung in den aktuellen Forschungsprojekten am Untersberg und benachbarten Gebirgen (z.B. Reiteralpe, Hüttl 1999, Kufmann 2003, 2008a, 2008b, Duffy 2011) deckt eine komplexe äolische Dynamik zwischen Erosion und Deposition auf, zu der auch regelmäßig auftretende Saharastaub-Events ihren Beitrag leisten. Für die Deposition von äolischen Substraten und deren Verlagerungsdynamik spielen Dolinen die Hauptrolle, da sie als Substratfalle und Filter in den unterirdischen Karst fungieren. Die Exkursionsteilnehmer erhalten Einblick in das Messnetz und Aufschluss über erste Ergebnisse aus den engmaschigen Bodenkartierungen, Staub- und Erosionsmessungen.

Zur Interpretation der Prozessdynamik an der Oberfläche werden auch Vergleichsanalysen an Höhlensedimenten im unterirdischen Karst miteinbezogen. Geomorphologisch richtet sich deshalb auch der Blick auf die bedeutenden Höhlensystemen im Untersbergmassiv (z.B. Gamslöcher-Kolowrat-Salzburger-Schachthöhle, Schellenberger Eishöhle). Hier liegt der Fokus auf der Riesending-Höhle, Deutschlands längste und tiefste Höhle, mit neuesten Ergebnisse aus dem Archiv der kooperierenden Forschergruppen (z.B. Höhlenforscher Johann Westhauser 2013, Arge Bad Cannstatt; Hydrogeologe Georg Zagler 2006, LVHK Salzburg).

Exkursionsroute und Zeitplan

Die Hochgebirgswanderung führt auf meist gut begehbaren Wanderwegen von der Bergstation der Untersberg-Seilbahn in den Karst der Hochfläche. Dabei gliedert sich die Strecke in vier Standpunkte (Abb. 3).

Der Programmablauf ist wie folgt vorgesehen, wobei die Leitung sich witterungsbedingte Änderungen vorbehält (Tab. 1).

Tab. 1: Zeitlicher Ablauf

Uhrzeit	Programmpunkt
7:30	Abfahrt LMU mit Exkursionsbus über A8 nach Salzburg, Ausfahrt Süd, Weiterfahrt über B 160 nach Grödig, Untersbergbahn Themen: Naturraum Nördliche Kalkalpen
9:00	Ankunft Talstation Untersbergbahn, Lösen der Gruppentickets
9:30	Bahnfahrt zur Bergstation Themen: Geologie, Forschungsgeschichte, aktuelle Höhlenforschung
10:00	Standpunkt 1: Untersberg – Am Guten Hirt (1805 m) Themen: Substrate und Bodenbildung in Karst-Ökosystemen, Geomorphologie, Karstgenese; Profil 1
10:45	Standpunkt 2: Alte Talform zw. Guter Hirt und Salzburger Hochthron Themen: Morphotektonik, Karst, Boden-genese; Profil 2
11:30	Standpunkt 3: Umgebung Großer Heubergkopf (1836 m) Themen: Dolinengenese, Dolinentypisierung, Schachtsysteme, Mikroklima; Profil 3 und Profil 4
12:00	Standpunkt 4: Dolinenfeld – Verebnung am – ca. Karstplateau
14:00	Themen: Flugstaubforschung, Messnetzaufbau, Testflächen Einblick in das aktuelle Forschungsprojekt „Dolinsedimente im Spannungsfeld zwischen Abtrag und Bodenbildung“; Profil 5; Brotzeit im Gelände
14:00	Rückkehr zum Ausgangspunkt Bergbahnstation (0,5 h), Einkehr ins Zeppezauerhaus; alternativ alpine Wanderung über Mittagsscharte und Skipiste zurück zur Bergstation (2,5-3 h)
17:00	Abfahrt ins Tal
17:30	Rückfahrt auf gleicher Route nach München
19:00	Voraussichtliche Rückkehr

Physiogeographische Ausstattung

A) Topographie und Kurzcharakteristik

Das Gebirgsmassiv (ca. 70 km²) mit Plateaucharakter stellt den nördlichsten Ausläufer der Berchtesgadener Alpen dar und erstreckt sich über 12°56'/13°02' E und 47°39'/47°45' N. Die

Staatsgrenze trennt das Plateau in den nördlichen Teil (mit Salzburger Hochthron 1853 m ü. NN) und den südlichen Bereich mit dem Berchtesgadener Hochthron (1972 m ü. NN) als höchsten Punkt. Mit einer maximalen Reliefenergie von 1527 m repräsentiert der Untersberg von den Tallagen bis zum Gipfelniveau folgende Vegetationsstufen: montan (Bergmischwaldstufe), subalpin (Alpenrosengebüsch, Krummholzzone), alpin (alpine Rasengesellschaften auf Karbonatsubstrat nach Ellenberg 1996).

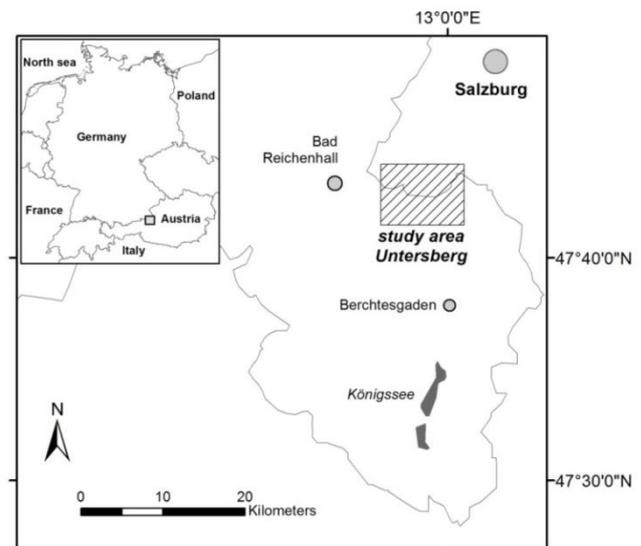


Abb 2: Lage des Untersuchungsgebietes (Mix & Kufmann 2014)

B) Geologie und Tektonik

Der Untersberg gehört deckenstratigraphisch zum Kalkalpin der Nördlichen Kalkalpen. Die isolierte Untersbergscholle als Teil der Reiteralmdedecke, liegt schwimmend auf der überfahrenen tiefjuvavischen Hallstätter Decke (Abb. 4). Die hochjuvavische Schichtenserie (Gesamtmächtigkeit: bis 2000 m) mit nordwestvergenger Lagerung wird von Karbonatgesteinen dominiert und ist durch alttertiäre Bruchsysteme intensiv zerlegt. Diese Karbonatplattform taucht unter die Quartärfüllung des Salzburger Beckens und zeigt nur im SE die Schichtenfolge bis in die Untertrias. Die Stratigraphie der Reiteralmdedecke repräsentiert einen Sedimentationszyklus, der stark verkarstungsfähige Gesteine (z.B. Unterer Ramsadolomit, Reiteralmkalk, Dachsteinkalk, Plassen- und Hierlatzkalke) mit zwischengela-

gerten mergelig-sandigen Serien (Raibler Band, Carditaschichten) zeigt. Die im Jungtertiär einsetzende Karstgenese wird durch die wasserzügigen Bruch- und Störungsstrukturen stark begünstigt. Die Inhomogenität der

Klufttrichtungen auf dem Untersbergplateau erklärt die heutigen Hauptstreichrichtungen (E-W; N-S) von Karstgassen, Dolinenreihen und Schichtköpfen.

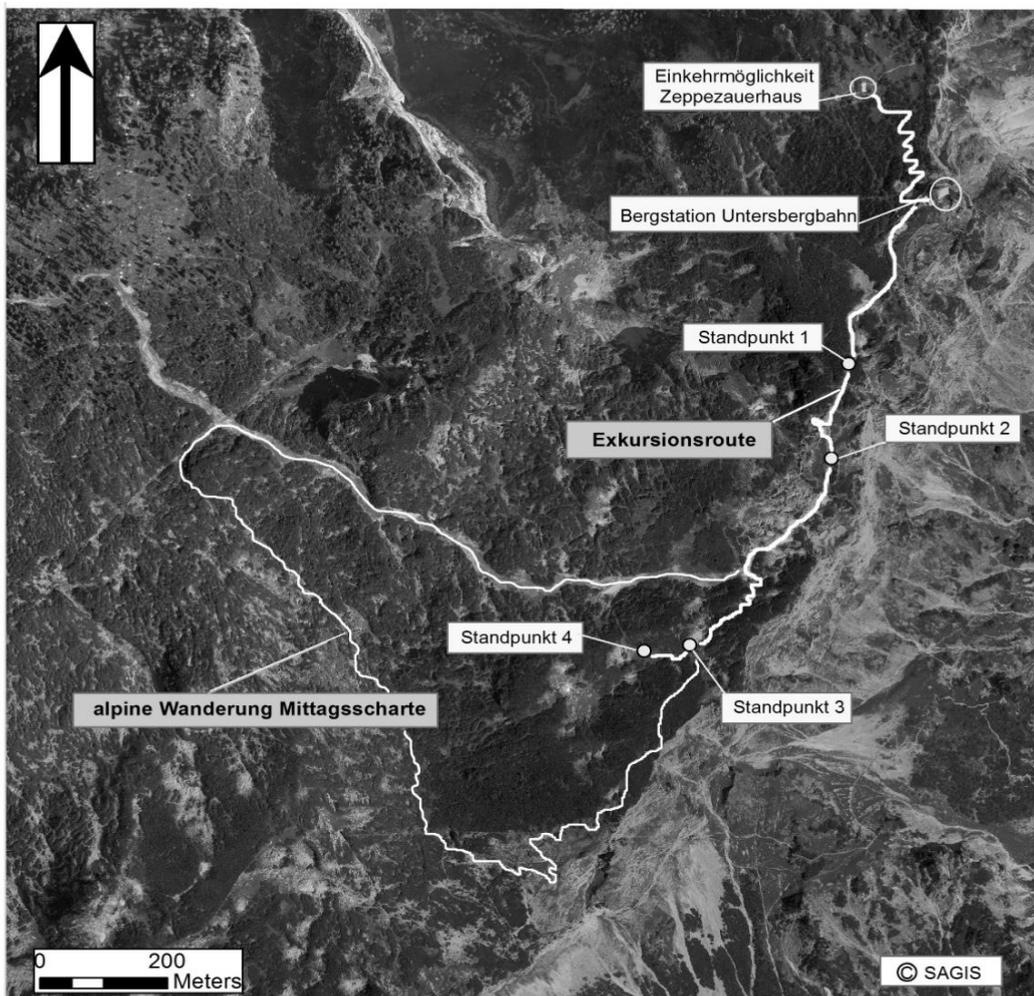


Abb. 3: Exkursionsroute (Daten: SAGIS 2014)

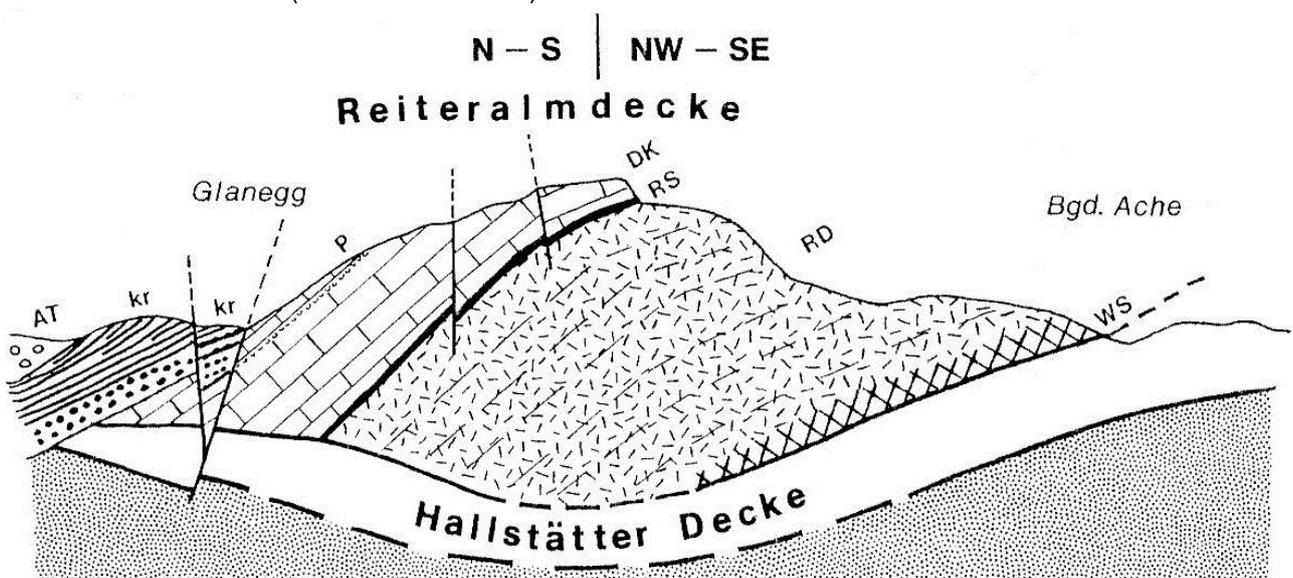


Abb. 4: Geologisches Profil der Untersbergscholle (Haseke-Knapczyk 1989, S. 18).

AT = Alltertiär, kr = Oberkleide (Gosau), P = Plassenkalk (Tithon), DK = Reiteralmkalk (Nor), RS = Raibler Schichten, RD = Ramsadolomit (Ladin), WS = Werfener Schichten/Haselgebirge

Tab. 2: Gliederung des Karsts in den Nördlichen Kalkalpen. (Küfmann 2008b, S. 20)

Gliederung	Typische Formen	Dominante Verbreitung (Höhenstufe)
Karst ohne Vegetationsbedeckung > 90% Gestein, < 10% Vegetation und Boden freier, nackter Karst, Hochkarst	durch Frostsprengung zerstörter Karst („Scherbenkarst“) Karrenfelder mit freien Karren (Rillen-, Rinnsal-, Trittkarren); strukturgebundene Kluffkarren und Dolinenreihen Schutt- und Einsturzdolinen; Schächte, Halbhöhlen, Karstgassen	nival bis alpin
Sonderform: Glazio-Karst = Karst auf glazial geschliffenen Gesteinsschichten Je nach tektonischer Lagerung und Neigung: Schichtflächen- / Schichtkopf-Karst Schichtrippen- / Schichttreppen-Karst	Schacht- und Einsturzdolinen; grasbesetzte Dolinenreihen mit Schlucklöchern; Karstgassen, Karstspalten Schichtflächen mit Rinnen-, Rillen-, Lochkarren, Biokarstformen; Schichtköpfe und Rundhöcker mit Karrenkleinrelief; Dolinen in bewachsenem Substrat (Lokalmoräne, Schutt); bodengefüllte Karrenfußnäpfe, Rinnenkarren, Kamenitza	subnival bis alpin
Karst mit unterschiedlicher Vegetations- und Bodenbedeckung z.B. halbbedeckter Karst (50% Gestein / 50% Vegetation etc.)	Rund- und Lochkarren, Karstbecken, Karrenfußnäpfe z.T. bodengefüllt; Lösungsdolinen, Uvalas, vegetationsbedeckte Karstgassen und ausgeprägte Dolinenfelder und -reihen; Rillen-, Rinnsalkarren nur auf nacktem Fels	alpin bis subalpin (obere)
bedeckter Karst, d.h. > 90% Vegetation; subkutaner Karst, Wald- oder Grünkarst	Rundkarrenrelief unter Vegetation Lösungsdolinen, Schlucklöcher, Uvalas	subalpin bis submontan

C) Karstgenese - Geomorphologie

Das Karstplateau (1500 m bis 1900 m ü. NN; 11 km²) ist vorwiegend aus weißer Riffkalkfazies des Dachsteinkalks vom Reiteralm-Typus (Nor-Rhät) aufgebaut, der nach N abdacht (Prey 1969). An tektonischen Störungszonen im Gipfelbereich ist der Kalkstein brekziiert und mit bauxitischen Verwitterungsresiduen sekundär verheilt. Weitere Zeugen einer tertiären Reliefbildungsphase sind Augensteinsedimente der Raxlandschaft (Fischer 2005). Die Gliederung der Großkarst-Typen zeigt Schichtkopf- und Schichtflächenkarst, der durch pleistozäne Gletscherwirkung heraus präpariert wurde (Glaziokarst) (Tab. 2).

Mesoformen im Karst sind Uvalas auf dem zentralen Plateaubereich, und sind oft mit tertiär angelegten Großdolinen (> 100m) und Kuppenkarstrelikten im NE und SE vergesellschaftet. Zusätzlich bedingt eine Vielzahl von Mittel- und Kleindolinen im Zusammenspiel mit variantenreichen Karrentypen das charakteristische Oberflächenrelief. Während auf den Kuppen trichterförmige Dolinen mit Boden-

auflagen und Sedimentfüllungen dominieren, ist die klassische Lösungsdoline auf dem zentralen Hochplateau entlang von Kluffflächen und Schichtköpfen asymmetrisch umgestaltet. Eine Besonderheit stellt dabei die Schachtdoline dar, welche auf aktivierte tektonische Prozesse, subglaziale Abflussdynamik und rezente Firneinlagerungen zurückzuführen ist. Sie tritt verstärkt im zentralen und östlichen Plateaubereich auf. Das nördliche Plateau mit seinen Abhängen repräsentiert den Typus der Einsturzdolinen, welche als Resultat von Höhlenganguinen weiterentwickelt werden (Tab. 3).

Die besonders im Alpenraum von der subalpinen bis zur subnivalen Stufe stark variable Hangausrüstung und mögliche Bodenverteilung innerhalb des Sonderstandortes Doline (z.B. Distel et al. 1911, Fink 1976, Weingartner 1983, Ruttner 1994, Mix & Küfmann 2011) ist bei allen Dolinentypen auf dem Untersbergplateau deutlich ausgeprägt.

D) Klima und Hydrologie

Der Untersberg weist einen mittlerer Jahresniederschlag von 1925mm und die Station Salz-

burg Flughafen von 1184 mm (1971-2000, ZAMG) auf. Diese orographische Stauwirkung durch exponierte Nordrandlage bewirkt auch auf dem Plateau zusammen mit gleichzeitiger Leewirkung im SE eine differenzierte Niederschlagsverteilung (Haseke-Knapczyk 1989). Karsthydrologisch relevant sind 188 kartierte Einzelquellen (Quellkataster 1963-1966, speläologisches Institut Wien). Tracerhydrologische Daten (1966-1975; 1981-1985) beweisen, dass der Großteil des Niederschlagswassers auf dem Untersbergplateau linear zur Fürstenbrunner Quelle entwässert.

Tab. 3: Dolinenhaupttypen am Untersberg (Mix & Küfmann 2014).

Dolinenhaupttyp	Untergruppen ¹	Charakterisierung
Schachtdoline	Blindschacht / Schachtdoline Kesseldoline	deutliche Tiefenerstreckung, senkrechte Wände; Zugang zum Karstuntergrund
Dolinen-Schacht-Komplex	cockpitartige Sterndoline; kaskadenartig abfallende Dolinenreihen	unregelmäßiger Grundriss Zugang zum Karstuntergrund
Normdoline	Schüssel- und Flachdoline Trichterdoline Muldendoline	Grundriss annähernd kreisförmig regelmäßige Böschung

¹ Formdefinition unter anderem nach Haseke-Knapczyk 1989, Fink 1976, Pfeffer 1978, 2010

E) Vegetation

Die Abhänge des Untersbergmassivs sind forstwirtschaftlich mit Fichten- und Schutzwäldern (70%, 30%) bestockt. An wuchsrärmeren und bringungsschwierigen Standorten setzen sich Laubmischwälder durch (Dollinger & Haseke-Knapczyk 1988). Im Bereich der großen Dolinenfelder (ca. ab 1600 m ü. NN) ist Alpenrosen-Latschengebüsch (*Rhododendron hirsuti* - Mugetum) vorherrschend. Es wird auf den ebenen Bereichen durch den Blaugras-Horstseggenrasen (*Seslerio-Caricetum sempervirentis*) aufgelockert. Bodenfeuchte Gräben, Mulden und Karstgassen werden stellenweise von der Grünerle (*Alnus viridis*) besiedelt (ÖAV 2012). In den Dolinen selbst wechseln sich mit Moos versetzte Schneetälchen-

gesellschaften (*Arabidetum caerulea*), das windtrotzende Firmetum (*Caricetum firmae*) und feuchteliebende subalpine Staudengesellschaften (z.B. *Adenostylin alliariae*) ab. Sie spiegeln die mikroklimatischen Bedingungen (Luv-Lee Aspekte, expositionbedingte Schneelager, Schattsituationen) am Sonderstandort Doline wider.

F) Bodensubstrate und Bodentypen

Die Substratbildung im Karstrelief wird durch wechselnde Akkumulations- und Erosionslagen (Luv-Lee-Effekte) besonders in Dolinen kleinräumig differenziert. Das dort erzeugte Mikroklima steuert über die Entwicklung der Schneedecke die räumlichen Muster der subalpinen und alpinen Vegetationsgesellschaften und damit die Humusbildung der organogen geprägten O/C-Böden. Fels- und Skeletthumusböden (Lithic Leptosol, Histosol) sowie Syrosem-Rendzinen (Lithic Leptosol) und Lockersyrosem-Regosole (Calcaric Regosol) zeigen entlang von Catenen am Dolinenhang, aber auch über wasserzügigen Tiefenlinien die initiale Bodenbildung an. Hingegen bedingt lange Schneebedeckung mit erhöhter Schneeschmelzaktivität eine verstärkte Carbonatlösung im Dolinengrund. Dort treten je nach Mächtigkeit der Substrat- und Sedimentfüllung Lockersyrosem-Rendzinen (Eutric Leptosol) aber auch Übergangsformen zur Braunerde-Rendzina (Leptosol, Skeletic oder Mollic) bzw. bei Vermischung mit Terra-Material auch zur Terra fusca-Rendzina (Calcic Cambisol, Chromic Cambisol, initial) auf. Versauerung unter subalpinen Krummholzgesellschaften (*Rhododendron hirsuti* - Mugetum) bedingt Histosole (Folic oder Dystric; Tangelrendzina im Sinne von Kubiena 1953) mit unterschiedlicher Mächtigkeit auf Fels- und Kalkschuttstandorten. Akkumulativ wirkende Karren, Karstgassen und inselartige Flächenreste sind die Standorte für gut entwickelte braune Mineralböden. Je nach Versauerungszustand und genetischer Herkunft des Mineralanteils (autochthones Terra-Material vs. allochthones, lössartiges Silikatmaterial) sind Subtypen der Terra fusca (Cambisol) häufig. Der äolische Eintrag von rezenten glimmerreichen Flugstäuben bedingt eine Dynamik hin

zur Braunerde (Bv-Tv). Mächtige Dolinenfüllungen (z.T. mit Moräne vermischt) sowie Reste von periglazialen Decksedimenten mit Lösslehmverwitterung (spätpleistozän?, holozän?) bedingen Mehrschichtprofile (Bv/II Tv+Cv) mit der Substratfolge „äolische Löss-Braunerde über Residuallehm“. Eine pedologische Besonderheit stellen Kluft- und Karstschlottenfüllungen mit polyedrischem Gefüge (Chromic Cambisol, Vertic Cambisol) entlang tektonischer Reibungszonen dar. Die zerbrochenen Dachsteinkalk-Brekzien sind hier mit Tonen und kräftig roten Oxiden (Fe und Al als Basis) verheilt. Entsprechend wird in der älteren Literatur eine Bauxitbildung („Bolos“ im Sinne von Gillitzer 1913) unter subtropischem Klima diskutiert (Gosauzeitliches oder tertiäres Alter?). Zieht man die mineralischen Analysen aus dem Nachbargebiet der Reiteralpe heran, dann ist in vielen Fällen eine lithogene Rotfärbung im Sinne der „Entcarbonatisierungsröte“ von Meyer (1979, S. 705) wahrscheinlich, da Eisen im Dachsteinkalk karbonatisch als Ankerit oder Siderit gebunden ist (Küfmann 2008b, S. 29ff).

G) Aktuelle Forschung

Aktuell findet auf dem Plateau eine Forschungsarbeit statt, die sich auf den Vergleich von Sedimenten und Bodentypen in Dolinen mit Sedimenten aus den korrelativen Höhlengangsystemen (Riesending, Kolowrat) konzentriert. Ziel der Untersuchung ist, die dominanten Substrate im System Doline auf dem Weg in den Karstuntergrund zu ermitteln. Dazu werden in zuvor definierten Dolinentypen in der subalpinen Stufe Bodentypen entlang von Catenen an Dolinenhängen untersucht (Höhenintervall: 1770 m bis 1790 m). Die Beprobung der akkumulierten Höhlensedimente findet in den Horizontalgängen der unteren Stockwerke (800-1020 m ü. NN) statt. Zusätzlich werden Stechzylinderproben von Höhlensedimenten an der Karstwasserbasis (680m ü. NN) entnommen, welche die Kontaktzone zwischen Karstwasserkörper und Quellaustritt im Untersbergmassiv repräsentieren. Zusätzlich wird in repräsentativen Dolinentypen ein Messnetz installiert, um sowohl den äolischen Eintrag auf die Plateaufläche,

aber auch den Abtransport von Bodensubstrat in den Untergrund zu quantifizieren. Die Evaluierung der innerhalb der Dolinentypen ermittelten Felddaten belegt, dass besonders an Dolinen-Schacht-Komplexen die Bodenerosion entlang der Unterhänge ansetzt. Grund dafür sind günstige Expositionsverhältnisse, welche die Schneemächtigkeit aber auch eine Verlängerung der Schneeschmelze verursachen. Hingegen sind abflusslose Dolinen deutliche Akkumulationsstandorte für die verlagerten Bodensubstrate. Im Gegensatz zu den Sedimenten auf der Plateaufläche wird im Karstuntergrund verstärkt äolisch geprägtes Material (z.B. Schluffdominanz, Glimmer, Feinsand) detektiert, welches zuvor im System Doline über Niederschläge und Schneeschmelzwässer verlagert wurde. Auffälligerweise bleiben die äolischen Komponenten auch in den Höhlensedimenten an der Karstwasserbasis sowie in den Trübestoffproben am Quellwasseraustritt nachweisbar. Damit wird dokumentiert, dass innerhalb von Karbonatkomplexen der Nördlichen Kalkalpen auch äolischer Staub einem Transportzyklus unterworfen ist.

H) Nutzung

Das Karstplateau wird durch die Nähe zur Stadt Salzburg, der Untersbergbahn und den Schutzhütten (Toni-Lenz-Hütte, Zeppezauerhaus, Stöhrhaus) in den leicht zugänglichen Bereich intensiv bergsporttouristisch genutzt. Schauhöhlen bieten Einblicke in die verborgenen Seiten des Untersberges (z.B. Schellenberger Eishöhle, Gamslöcher). Hingegen sind die zahlreichen Forschungshöhlen nur den sehr erfahrenen Höhlenforschern zugänglich. Die Karstwasser werden von der seit 1875 gefassten Fürstenbrunner Quelle über Filteranlagen in den Grundwasserspeicher Glanegg geleitet und für die Trinkwasserversorgung der Stadt Salzburg genutzt. Die Stadt Salzburg nutzt das Gebiet auch forstwirtschaftlich unter der Revierleitung der Fam. Mayr-Melnhof, in dessen Privatbesitz ein Großteil des österreichischen Waldanteils am Untersberg steht.

Literatur

Distel, L. & Scheck, F. (1911): Das Plateau des Zahmen

- Kaisers. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München. 6 (2): 97-166.
- Dollinger, F & Haseke-Knapczyk, H. (1988): Naturraumpotential Untersberg bei Salzburg. Salzburger Geographie Arbeiten. Band 17: 35-56.
- Duffy, L. (2011): Mikrobedingte Raummuster von Böden, äolischen Substraten und Flugstäuben im Hochgebirgskarst der Nördlichen Kalkalpen (Reiteralpe, Berchtesgadener Alpen). Dissertation, Department für Geographie, LMU München, 131 pp.
- Ellenberg, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart, 1357pp.
- Fink, M. H. (1976): Zum Stand der Karstforschung. Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. Band 118: 211-237.
- Fischer, K. (2005): Geomorphologie der Berchtesgadener Alpen. Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 50. Berchtesgaden, 171 pp.
- Gillitzer, G. (1913): Geologischer Aufbau des Reiteralp-Gebirges im Berchtesgadener Land. Geognostische Jahreshefte 25, München: 161-227.
- Haseke-Knapczyk, H. (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Ö.MaB-Programm (15), Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, Austria, 223 pp.
- Hüttl, C. (1999): Steuerungsfaktoren und Quantifizierung der chemischen Verwitterung auf dem Zugspitzplatt (Wettersteingebirge, Deutschland). Münchner Geographische Abhandlungen. Reihe B, Band 30, München, 171 pp.
- ISSS-ISIC-FAO (1998): World Reference Base for Soil Resources. FAO, World Soil Resources Report No. 84. Rome, 88 pp.
- KIC (Kollmorgan Instruments Cooperation) 2000: Munsell Soil Colour Charts. Baltimore, USA.
- Kubiena, W. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart, 389 pp.
- Küfmann, C. (2003): Soil types and eolian dust in high mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany). Catena 53: 211-227.
- Küfmann, C. (2008a): Are cambisols in alpine karst autochthonous or eolian in origin? Arctic, Antarctic, and Alpine Research 40(3): 506-518.
- Küfmann, C. (2008b): Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen. Forschungsbericht des Nationalparks Berchtesgaden 54. Berchtesgaden, 189 pp.
- Mix, C. & Küfmann, C. (2011): Dolinengenese und ihre Steuerfaktoren in einem subalpinen Karstökosystem der Nördlichen Kalkalpen (Plateau Zahmer Kaiser, Österreich). Z.Geomorph., 56(2): 141-163.
- Mix, C. & Küfmann, C. (2014): Sedimenttransport zwischen Dolinenkarst und Riesendinghöhle am Untersberg (Nördliche Kalkalpen). Z.Geomorph., in press: 1-15.
- Meyer, B. (1979): Die Entcarbonatisierungsröte als bodengenetischer Teilprozeß. Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 28: 705-708.
- ÖAV (2012): Naturkundlicher Wanderführer Untersberg. Anif, Grödig, Stadt Salzburg. 147 pp.
- Prey, S. (1969): Geologische Karte der Umgebung der Stadt Salzburg. Geologische Bundesanstalt (Hrsg.), 1 : 50 000.
- Ruttner, B. (1994): Die Vegetation des Höllengebirges. Staphia 33, 165 pp.
- Schlichting, E., Blume, H.-P. & Stahr, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Wien. 295 pp.
- Soil Survey Staff (2006): Keys to soil taxonomy. Washington, 339 pp.
- Weingartner, H.(1983): Geomorphologische Studien im Tennengebirge, Salzburg. Arbeiten aus dem Institut f. Geogr. D. Univ. Salzburg 9. Salzburg, 195 pp.
- Westhauser, J. (2013): Unveröffentlichte Erläuterungen zur Probenentnahme aus der Riesending-Schachthöhle- Manuskript, persönlich überreicht. Stuttgart, 50 pp.
- Zagler, G. (2006): Altes und Aktuelles vom Untersberg. Gamslöcher-Kolowrat-Salzburgerschacht-Höhlen-system (1339/1) 2006-2009. In: Atlantis. Landesverein für Höhlenkunde Salzburg 1-2: 3-17.

Profile

Abkürzungen

Kationenaustauschkapazität: Σ KAK = Gesamtaustauschkapazität, BS = Basensättigung [%]; nach MEIWES et al. (1984)
 pH-Wert Bestimmung: potentiometrisch (0,01n CaCl₂-Lösung) nach 30 min. und 24h (Gaselektrode und pH-Meter Typ 521 WTW)

Charakterisierung Bodenart: st = stark; sw = schwach; mi = mittel; S = Sand; U = Schluff; T = Ton; L = Lehm

Profil 1

Bodentyp	Braunerde-Terra fusca (Cambisol, Dystric ?)
Klasse	Terrae calcis
Koordinaten	N 47°43,193', E 13°00,412'
Datum:	20.10.14
Höhe / Neig. / Exp.	1798 m / 8° / 304° (NW)
Lage und Relief	Kuppenlage / Schichtkopf
Vegetationsgesell.	<i>Seslerio-Caricetum sempervirentis</i>
Profilmächtigkeit	65 cm



Horizontfolge

cm	Horizont	Beschreibung
0-47	Ah	Krümelfüge, schmierig, stark durchwurzelt, sw karbonathaltig, glimmerführend, Übergang zu Bv-Tv teilweise aufgehell
-65	Bv-Tv	krümelig bis subpolyedrisch, glimmerführend, feinsandig, lehmig, karbonatfrei
	cCn	Dachsteinkalk (Nor), Schichtrippe

Bodenchemische Werte

Probe				Kennwerte des Feinbodens		
Nr.	Horizont	[cm]	pH	C _{tot} [%]	N [%]	
1	Ah	-47	6,75	42,02	1,81	
2	Bv-Tv	-65	6,79	2,26	0,12	

Probe			Effektive Kationenaustauschkapazität [mmol/kg]							
Nr.	Horizont	[cm]	K [%]	Na [%]	Mg [%]	Ca [%]	Al [%]	H ⁺ [%]	Σ KAK	BS
1	Ah	-47	1,78 [0,19]	0,78 [0,08]	4,87 [0,5]	893,2 [99,1]	0,38 [0,04]	0	901	99,95
2	Bv-Tv	-65	0,76 [0,4]	0,74 [0,45]	1,84 [1,1]	160,9 [98,1]	0,31 [0,18]	0	164	99,73

Profil 2

Bodentyp	Terra fusca – Rendzina (Chromic Cambisol)
Klasse	Terrae calcis
Koordinaten	N 47°43, 126', E 13°00,396'
Datum:	20.10.14
Höhe / Neig. / Exp.	1784 m / 29° / 329° (NW)
Lage und Relief	alte Talung zwischen Guter Hirt / Salzburger Hochthron (1853 m ü. NN)
Vegetationsgesell.	<i>Caricetum firmae</i>
Profilmächtigkeit	140cm



Horizontfolge

cm	Horizont	Beschreibung
0-10	Ah+Cv	Subpolyedrisch, glimmerführend, stark durchwurzelt, Graswurzelfilz, karbonathaltig
10-20	T+Cv	polyedrisch bis plattig, sw karbonathaltig
20-140	T-(Cv)	Klufffüllung, polyedrisch, stark tonig, z.T. Kalksplitter
	Cn	Dachsteinkalkbrekzie (Nor)

Bodenchemische Werte

Probe				Kennwerte des Feinbodens		
Nr.	Horizont	[cm]	pH	C _{tot} [%]	N [%]	
1	Ah+Cv	-10	6,51	30,46	1,67	
2	T+Cv	-20	7,22	6,33	0,39	
3	T-(Cv)	>20	7,3	0,94	0,06	

Profil 3

Bodentyp Skeletthumusboden (Folic Histosol)
 Klasse O/C-Boden
 Koordinaten N 47°42, 962', E 13°00,231'
 Datum: 20.10.14
 Höhe / Neig. / Exp. 1796 m / 39° / 79° (E)
 Lage und Relief Dolinenunterhang
 Vegetationsgesell. *Arabidetum caerulea*, stark vermoost
 Profilmächtigkeit 20cm



Horizontfolge

cm	Horizont	Beschreibung
+20-0	Oh	subpolyedrisch, karbonatfrei, sehr stark humos, glimmerführend, sandig
>20	cICv	Verwitterungsschutt aus Dachsteinkalk (Nor)

Bodenchemische Werte

Probe Nr.	Horizont	[cm]	pH	CaCO ₃ [%]	Kennwerte des Feinbodens			
					C _{tot} [%]	Org. Substanz [%]	N [%]	C/N
1	Oh	-20	6,57	In Arbeit	6,71	In Arbeit	0,52	

Profil 4

Bodentyp Braunerde - Terra fusca (Eutric Cambisol)
 Klasse Braunerde
 Koordinaten N 47°42,969', E 13°00,235'
 Datum: 20.10.14
 Höhe / Neig. / Exp. 1795 m / 38° / 22° (N)
 Lage und Relief Dolinenunterhang
 Vegetationsgesell. *Arabidetum caerulea*, stark vermoost
 Profilmächtigkeit 18cm



Horizontfolge

cm	Horizont	Beschreibung
0-3	Ah	krümelig, stark glimmerführend, schwach carbonathaltig, Graswurzelfilz
18	Bv-Tv	subpolyedrisch, glimmerführend, sw sandig, nach unten zunehmend toniger

Bodenchemische Werte

Probe Nr.	Horizont	[cm]	pH	Kennwerte des Feinbodens		
				C _{tot} [%]	N [%]	
1	Ah	-3	6,16	11,02	0,87	
2	Bv-Tv	18	7,26	2,06	0,17	

Profil 5

Bodentyp Braunerde aus Flugstaub über Terra fusca aus Residualton der Dachsteinverwitterung
Klasse Braunerde (Cambic over Chromic Cambisol)
Koordinaten N 47°42, 949', E 13°00,170'
Datum: 20.10.14
Höhe / Neig. / Exp. 1800 m / 4° / 118° (ESE)
Lage und Relief Dolinendurchsetzte Fläche, von Kuppen umrahmt
Vegetationsgesell. *Seslerio-Caricetum sempervirentis*
Profilmächtigkeit 36 cm (erreichte Grabtiefe)



Horizontfolge

cm	Horizont	Beschreibung
0-1	Ah	Graswurzelfilz
-4	(Ah/)Bv	krümelig bis subpolyedrisch, stark glimmerführend und schluffig, Humus verzogen in Schlieren, Flecken
-20	Bv+Tv	subpolyedrisch, glimmerführend, Tonschmitzen, tropfen- und zapfenförmigem in IIv ausgreifend
-36	IIv	subpolyedrisch bis polyedrisch, schwach glimmerhaltig, Tonschmitzen

Bodenchemische Werte (Feinboden)

Nr.	Horizont	[cm]	pH	C _{tot} [%]	N [%]
2	(Ah/)Bv	-4	3,52	16,68	1,3
3	Bv+Tv	-20	3,71	4,61	0,43
4	IIv	-36	4,01	2,27	0,2

B-04: Waldböden des Oberpfälzer Juras, Waldwachstum, Biomassenutzung und Umweltmonitoring

Kölling C.¹, Pretzsch H.², Moshammer R.², Weis W.¹, Zimmermann L.¹, Schubert A.¹

¹ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abteilung Boden und Klima, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising

² Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising



Geologie und Böden des Jura im Raum Kelheim-Riedenburg

Das Juragebirge im Raum Kelheim-Riedenburg ist eine wellige Hochfläche (450-500 m ü.N.N.) in der submontanen Höhenstufe. In die Hochebene sind canyonartig die Täler von Donau (Donaudurchbruch bei Weltenburg) und Altmühl eingeschnitten. Das Klima ist subozeanisch mit hohen Temperaturen in der Vegetationszeit und für Bayern unterdurchschnittlichen Jahresniederschlagssummen. Sowohl auf den Hochplateaus als auch in den Talsohlen herrscht Spätfrostgefahr.

Die Geologie wird großflächig von Weißjura (vor allem von Malm β) geprägt, der in Schicht- oder Massenfazies vorliegt. Darüber folgen lokal die weiteren Schichtglieder des Malm. In inselartigen Resten wird dieser Sockel bisweilen von sandigen bis schluffigen Sedimenten der Oberkreide überdeckt. Ablehm (Lößlehm, zum Teil mit Kalkverwitterungslehm vermischt) pleistozäner Herkunft lagert in größeren Flächenanteilen dem Weißjura mit unterschiedlichen Mächtigkeiten auf und ist häufig als Substrat der Bodenbildung beteiligt.

Humuskarbonatböden sind nur in steileren

Hanglagen, besonders an den steilen Talflanken zu finden. Unterschiedlich gründige Kalkverwitterungslehme bedecken die flacheren Hänge und zum Teil die Hochflächen. Hier sind sonst (Para-)braunerden aus Ablehm die Regel. Die sandig-schluffigen Böden aus Substraten der Oberkreide sind die nährstoffärmsten Waldstandorte der Region. An den Hangfüßen finden sich mit Kolluvien kleinflächig äußerst fruchtbare Standorte.

Nährstoffentzüge durch Holz- und Biomassenutzung: Schätzfunktionen für Biomasse und Nährelemente und ihre Anwendung in Szenariorechnungen

Die verstärkte Nutzung von Holz als nachwachsendem Rohstoff und Energieträger führt zu höheren Entzügen von Biomasse und Nährstoffen aus dem Wald, die auf manchen Standorten zu negativen Nährstoffbilanzen führen können. Im Rahmen des durch die Deutschen Bundesstiftung Umwelt, DBU, geförderten Projektes „Entscheidungsunterstützungssystem zum Nährstoffentzug im Rahmen der Holzernte“ (Az. 25966-33/0) wurden für definierte Standorte die Zusammenhänge von Biomassenutzung und Nährstoffentzügen quantitativ dargestellt. Grundlage dafür sind die hierfür neu entwickelten Biomasse- und Nährstoffmodelle.

Für die Entwicklung dieser Modelle wurden in Rheinland-Pfalz und Bayern auf ausgewählten, flächenmäßig bedeutsamen Waldstandorten insgesamt 852 Bäume der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche und Eiche gefällt und kompartimentsweise (oberirdisch) zur Bestimmung der Biomassen vermessen. Dabei wurden in der Regel pro Standort aus den Altersbereichen „jung“, „mittel“ und „alt“ immer fünf Stämme beprobt. Ergänzend zu den Aufnahmen im Wald wurden auch Messungen im Labor durchgeführt. Neben der Bestimmung der Gewichte im darrtrocknen Zustand und der Holzdichten wurden auch die Nährelementgehalte kompartimentsweise ermittelt. Auf Grundlage der in diesem Projekt erhobenen Daten in Verbindung mit Daten aus anderen Projekten, welche nach dem gleichem Beprobungsschema erhoben worden sind, wurden Modelle zur Berechnung der Biomassen und Nährelementgehalte der einzelnen Kompartimente der Baumarten in Abhängigkeit von Baumdimensionen (Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe, Kronenlänge, Kronendurchmesser) sowie der Standorte erstellt. Anhand von repräsentativen, virtuellen Beständen, die zum Beispiel mit dem Wachstumsmodell SILVA generiert werden, können unterschiedliche Holznutzungsszenarien und die damit verbundenen Nährstoffentzüge auf Basis einzelner Stämme und ihrer Kompartimente berechnet werden.

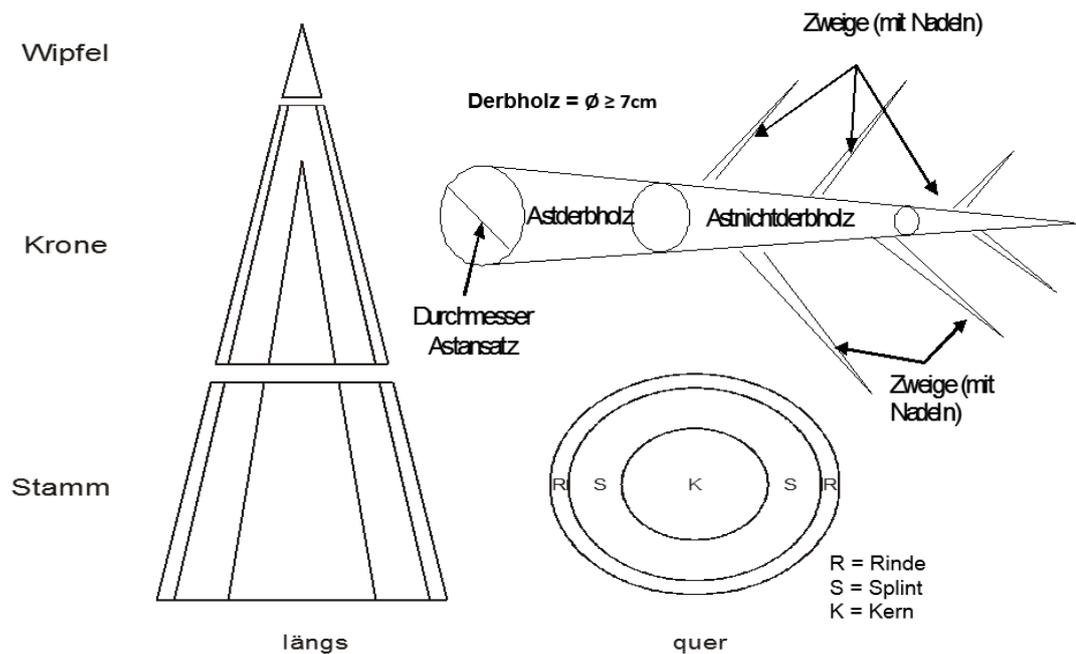


Abbildung: Schematische Darstellung der Baum-Kompartimente für Biomassen- und Nährstoffanalyse

Bestandskenngrößen

Standort	Baumart	Alter	Stamm- zahl [ha ⁻¹]	BHD [cm]	Mittel- höhe [m]	Ober- höhe [m]	Grund- fläche [m ²]	Vorrat [m ³]	Bonität	
									O100	dGZ100
Painten	Fichte	63	1264	22,2	21,4	22,5	49,0	567	30	11
WKS RIE 1	Buche ¹⁾	67	789	23,8	25,5	27,3	35,1	437		9

BHD: Brusthöhendurchmesser

¹⁾ Buchenbestand auf vergleichbarem Standort wie Waldklimastation**Nährstoffgehalte in der Biomasse**

Stand- ort		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
Painten	Nadel1	13,62	1,11	3,18	4,51	1,17	0,68	0,045
	Nadel	12,41	1,00	3,61	7,61	1,10	0,88	0,063
	Zweig	6,78	0,74	3,21	4,06	0,92	0,44	0,094
	Ast	2,91	0,23	0,91	3,30	0,39	0,23	0,028
	Rinde	4,97	0,58	2,26	10,69	1,00	0,55	0,035
	Holz	0,64	0,10	0,49	0,93	0,11	0,11	0,014
WKS RIE 1 ¹⁾	Blatt	22,87	1,72	6,89	17,30	2,13	0,42	0,136
	Zweig	9,66	1,18	2,68	9,98	0,52	0,10	0,068
	Ast	3,31	0,42	1,42	5,17	0,34	0,05	0,036
	Rinde	6,68	0,49	1,87	30,24	0,40	0,11	0,029
	Holz	1,06	0,16	1,07	1,02	0,36	0,04	0,008

Nährstoffmengen in der Biomasse

Stand- ort		Masse [t ha ⁻¹]	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe
Painten	Nadel	23	212	17	62	130	19	15	1,1
	Zweig	18	85	9	40	51	12	6	1,2
	Ast	34	54	4	17	62	7	4	0,5
	Rinde	31	72	8	33	156	15	8	0,5
	Holz	387	127	19	98	185	21	21	2,9
WKS RIE 1 ¹⁾	Blatt	5	123	9	37	93	12	2	0,7
	Zweig	8	74	9	21	76	4	1	0,5
	Ast	38	127	16	54	198	13	2	1,4
	Rinde	15	97	7	27	441	6	2	0,4
	Holz	243	257	39	261	249	87	10	1,9

¹⁾ Buchenbestand auf vergleichbarem Standort wie Waldklimastation

Exkursionspunkt Painten

Profil-Nr.: 1 Bearbeiter: Weis
 Höhe NN: 520 m
 Nutzung: Forst, Fichtenreinbestand

TK 25: 7036 Aufnahmedatum: 16.11.1993
 Geologie: Kreideschluff über Jurakalk (Malm)
 Relief: Ebene

Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L/Of/Oh	+ 5	Typischer Moder aus Fichtenstreu
2	Ah	-5	stark humos, sehr locker, schluffreich
3	AhBv	-10	schwach humos, locker, schluffreich
4	Bv	-40	sehr schwach humos, locker, schluffreich
5	Bv-T	-60	Übergang zur Terra fusca
6	IIT	-80+	dicht, carbonatfrei, tonreich, Polyedergefüge

Profilkennzeichnung

Bodenform: Braunerde aus basenarmen Kreideschluffen (Löß) über Terra Fusca
 Humusform: Typischer Moder
 WRB: Dystric Cambisol
 Anmerkung: Schichtung, Hauptwurzelraum im nährstoffarmen Kreideschluff

Physikalische Analysen und pH-Werte

Nr.	Horizont	> 2 mm	Sand	Schluff	Ton	Boden- art	TRD ¹⁾ [g/cm ³]	pH	
								H ₂ O	KCl
1	L/Of/Oh						0,14	4,1	3,3
2	Ah	29,3	22,6	60,3	17,1	Lu	0,51	3,7	2,9
3	Ah-Bv	10,0	21,5	54,2	24,3	Lu	0,71	4,1	3,5
4	Bv1	18,4	23,7	57,5	18,9	Lu	0,69	4,4	3,7
5	Bv2	22,9	16,8	60,2	23,0	Lu	0,93	4,5	3,7
6	Bv3	18,0	18,6	56,2	25,2	Lu	0,99	4,4	3,7
7	Bv-T	17,8	15,2	44,1	40,7	Lt3	1,23	4,6	3,6
8	IIT	14,6	15,9	33,9	50,2	Tu2	1,28	4,8	3,5

¹⁾ TRD = Trockenraumdichte (gilt auch im Folgenden)

Gesamtgehalte

Nr.	Horizont	C org		N t	C/N	S	P	C/P	K	Ca	Mg	[mg/g]				
		[mg/g]	[mg]									Na	Al	Fe	Mn	Cu
1	L/Of/Oh	412	14,4	29	1,38	0,61	675	1,23	3,21	0,39	n.d.	3,7	2,6	2,31	0,01	0,04
2	Ah	54	1,7	32	0,23	0,26	208	2,22	0,79	0,89	n.d.	14,9	12,5	0,33	0,00	0,02
3	Ah-Bv	32	1,2	27	0,16	0,26	121	2,45	0,63	1,10	n.d.	17,2	15,9	0,93	0,00	0,03
4	Bv1	22	0,7	31	0,13	0,26	83	2,65	0,63	1,28	n.d.	18,6	15,6	1,03	0,00	0,03
5	Bv2	14	0,5	28	0,15	0,34	42	3,30	1,16	1,64	n.d.	22,3	27,9	0,76	0,01	0,07
6	Bv3	4	0,4	9	0,11	0,22	16	4,28	0,53	2,06	n.d.	26,9	21,3	0,49	0,01	0,03
7	Bv-T	3	0,3	10	0,12	0,22	14	5,79	0,98	2,83	n.d.	42,8	27,4	0,26	0,01	0,07
8	IIT	2	0,2	12	0,08	0,23	10	5,96	0,76	3,08	n.d.	49,8	32,3	0,13	0,01	0,04

Austauscherbelegung

Nr.	Horizont	K	Ca	Mg	Na	[µmol/g]				KAK eff ¹⁾	BS ¹⁾
						Al	Fe	Mn	H ⁺		
1	L/Of/Oh	32,8	282,3	59,8	0,0	31,0	5,5	325,3	36,3	773	49
2	Ah	1,4	9,7	3,5	0,0	64,9	25,3	4,7	19,5	129	11
3	Ah-Bv	1,0	1,8	1,4	0,0	63,0	5,1	8,4	4,2	85	5
4	Bv1	0,8	0,8	1,0	0,0	44,6	0,7	8,4	2,0	58	4
5	Bv2	1,1	0,5	1,3	0,0	40,0	0,3	7,3	1,8	52	5
6	Bv3	1,1	0,0	1,0	0,0	41,4	0,0	6,6	1,4	52	4
7	Bv-T	2,5	11,8	19,7	0,0	66,3	0,0	8,6	1,6	110	31
8	IIT	3,3	28,0	42,3	0,0	62,8	0,0	3,3	2,3	142	52

¹⁾ KAK eff = effektive Kationenaustauschkapazität; BS = Basensättigung (gilt auch im Folgenden)

Exkursionspunkt WKS RIE 1

Profil-Nr.: 1 Bearbeiter: Kölling/Hoffmann/Adler TK 25: 7036 Aufnahmedatum: 16.11.1993
 Höhe NN: 475 m Geologie: Ablehm über Jurakalk (Malm)
 Nutzung: Forst, Laubholzmischbestand (Eiche, Buche) Relief: Oberhang

Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L/Of	+ 4	Eichen-Buchen-Streu
2	Ah	-3	stark humos, locker, Krümel-Subpolyedergefüge, 10 YR 4/2
3	(Sw-)Al	-20	schwach humos, mäßig dicht, Subpolyedergefüge, 10 YR 5/4
4	(Sd-)Bt-T	-30	sehr schwach humos, dicht, Subpolyeder-Polyedergefüge 7,5 YR 5/6
5	IIT	-45	dicht, Polyedergefüge, 7,5 YR 4/6
6	IIICv-T1	-80	dicht, sehr carbonatreich, Polyedergefüge, 7,5 YR 6/8 + 10 YR 7/4
7	IIICv-T2	-100 +	sehr dicht, sehr carbonatreich, Polyedergefüge, 7,5 YR 6/8 + 10 YR 7/4

Profilkennzeichnung

Bodenform: schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus Lößlehm über Terra Fusca
 Humusform: F-Mull bis mullartiger Moder
 WRB: Eutric Cambisol (eu CM)
 Anmerkung: Bis zur Profilssole durchwurzelt

Physikalische Analysen und pH-Werte

Nr.	Horizont	> 2 mm	Sand	Schluff	Ton	Bodenart	TRD	pH		Carbonat
								[g/cm ³]	H ₂ O	
1	L/Of	35,9					0,05	5,7	5,5	
2	Ah	10,2	7,3	72,5	20,2	Ut4	0,54	4,9	4,2	
3	(Sw-)Al	8,1	11,1	73,7	15,2	Ut3	1,15	4,6	4,0	
4	(Sd-)Bt	19,4	5,1	56,2	38,7	Tu3	1,33	5,4	4,2	
5	IIT	12,0	7	20,3	72,7	Tt	1,43	5,9	5,6	
6	IIICv-T1	32,0	25,6	34,8	39,6	Lt3	1,50	8,2	7,1	306
7	IIICv-T2	34,0	31,2	36,2	32,6	Lt2	1,76	8,3	7,1	344

Gesamtgehalte

Nr.	Horizont	Corg	Nt	C/N	S	P	C/P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn
		[mg/g]			[mg]			[mg/g]								
1	L/Of	396	17,5	23		1,19	333	2,09	13,97	2,87	0,11	2,74	3,5	4,65		
2	Ah	47	3,1	15				1,30	1,86	2,13	0,12	10,74	14,1	2,39		
3	(Sw-)Al	10	0,6	17				1,16	0,76	2,34	0,08	11,62	15,5	1,31		
4	(Sd-)Bt	5	0,5	11				3,72	2,19	4,93	0,12	30,03	30,1	0,71		
5	IIT	5	0,5	9				6,62	6,34	8,00	0,17	57,1	49,3	0,94		
6	IIICv-T1	0	0					2,11	199,32	3,83	0,12	23,53	18,8	0,22		
7	IIICv-T2	0	0					1,52	225,47	3,28	0,12	18,1	14,5	0,18		

Austauscherbelegung

Nr.	Horizont	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H ⁺	KAK eff	BS
		[μmol/g]								[%]	
1	L/Of	20,5	329,6	50,7	0,7	1,4	0,4	61,1	0,1	464	87
2	Ah	2,4	45,4	4,9	0,2	8,8	0,2	21,4	0,7	84	63
3	(Sw-)Al	0,9	5,2	0,8	0,2	34,5	0,2	5,5	1,8	49	14
4	(Sd-)Bt	3,9	85,5	3,9	0,4	33,1	0,1	2,9	2,8	133	71
5	IIT	8,7	313,4	8,9	0,8	2,1	0,1	1,1	0,4	336	99
6	IIICv-T1	4,3	367,4	3,2	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	376	100
7	IIICv-T2	3,7	337,7	2,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	345	100

Exkursionspunkt WKS RIE 2

Profil-Nr.: 2 Bearbeiter: Schubert/Herzig TK 25: 7036 Aufnahme datum: 05.07.2012
Höhe NN: 442 m Geologie: Kalkverwitterungslehm über Jurakalk (Malm)
Nutzung: Forst, Nadelholzbestand (Fichte) Relief: Mittelhang

Profilbeschreibung

Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L/Of	+ 2	Fichten-Streu
2	Ah	-3	stark humos, locker, Krümel-Subpolyedergefüge
3	Bt-T	-16,5	schwach humos, mäßig dicht, Subpolyeder-Polyedergefüge
4	Cv-T	-25,5	sehr dicht, Polyedergefüge
5	Cv	-35,5 +	sehr dicht, plattiges Gefüge des Ausgangsgesteines

Profilkennzeichnung

Bodenform: flachgründige Terra Fusca
Humusform: mullartiger Moder
WRB: Leptosol (calcaric, eutric, skeletic) (LP (ca, eu, sk)), oder Eutric Cambisol (eu CM)
Anmerkung: Bis zur Profilssole durchwurzelt

Physikalische Analysen und pH-Werte

Nr.	Horizont	> 2 mm	Sand	Schluff	Ton	Boden- art	TRD [g/cm ³]	H ₂ O	pH CaCl ₂	KCl	Carbonat [mg/g]
1	L/Of	28,6					0,21	4,6	4,1	3,9	
2	Ah	1,5	7,3	72,5	20,2	Ut4	0,66	4,3	3,7	3,2	
3	Bt-T	1,3	11,1	73,7	15,2	Ut3	1,00	5,2	4,4	3,8	
4	Cv-T	68,4	5,1	56,2	38,7	Tu3	1,90	7,5	7,2	6,7	28
5	Cv	71,2	7	20,3	72,7	Tt	1,78	8,0	7,6	7,4	74

Gesamtgehalte

Nr.	Horizont	Corg	Nt	C/N	S	P	C/P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn
		[mg/g]			[mg]			----- [mg/g]					-----			
1	L/Of	281	12,8	22	1,37	0,94	299	3,57	9,4	2,04	0,09	21,2	18,67	1,05	17,06	0,09
2	Ah	97	5,5	18	0,66	0,73	134	5,59	4,5	3,49	0,14	40,6	39,01	0,61	20,16	0,10
3	Bt-T	33	2,4	14	0,31	0,58	57	6,77	5,1	4,12	0,12	49,4	46,80	0,89	23,24	0,10
4	Cv-T	0	2,2	13	0,32	0,63	-	9,99	17,8	5,35	0,00	65,6	42,36	0,00	30,26	0,00
5	Cv	0	1,0	74	0,30	0,43	-	6,26	263,9	3,78	0,00	33,1	20,44	0,00	19,06	0,00

Austauscherbelegung

Nr.	Horizont	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H ⁺	KAK eff	BS	P cit ¹⁾
		----- [μmol _c /g]					-----				[%]	[mg/g]
1	L/Of	13,3	308,3	19,0	0,7	5,3	0,8	20,4	2,7	370	92	0,10
2	Ah	5,9	176,7	9,2	0,4	35,0	1,7	5,2	5,1	239	80	0,06
3	Bt-T	5,7	215,7	5,7	0,4	15,2	0,1	2,6	1,6	247	92	0,05
4	Cv-T	9,1	476,9	6,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	493	100	0,02
5	Cv	4,6	313,0	3,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	318	100	0,00

¹⁾ P cit = Phosphor im Citronensäure-Extrakt (gilt auch im Folgenden)

Exkursionspunkt Wipfelsfurt

Profil-Nr.: 1 Bearbeiter: Schubert/Schäff

Höhe NN: 375 m

Nutzung: Forst, Laubholzmischbestand (Esche, Eiche)

TK 25: 7037 Aufnahmedatum: 27.10.2014

Geologie: Jura (Malm)

Relief: Unterhang

Profilbeschreibung

Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L/Of	+1	Eschen-Eichen-Streu
2	Ah	-7	stark humos, locker, Krümelgefüge, 10 YR 3/3
3	M1	-28	stark humos, Subpolyederggefüge, 10 YR 4/3
4	M2 Quarzkiesbeimengung	-43	stark humos, locker, stark durchwurzelt, Subpolyederggefüge 10 YR 4/4
5	M3 Quarzkiesbeimengung	-56	stark humos, locker, Subpolyederggefüge, 10 YR 4/4
6	IlfAl Lößlehm	-74	dicht, Subpolyederggefüge, 10 Y 6/4
7	IlfBt Lößlehm	-95	dicht, (Sub)Polyederggefüge, 10 YR 5/6
8	IlfBt Lößlehmfließerde mit Kalkgesteinsbeimengung	-115+	dicht, (Sub)Polyederggefüge, 10 YR 4/6

Profilkennzeichnung

Bodenform: Normkolluvisol (YKn) über schwach pseudovergleyter Parabraunerde über Fließerde
Humusform: F-Mull
WRB: Terric Anthrosol (tr AT) oder, Eutric Cambisol (Colluvic, Humic) (eu CM (co, hu))
Anmerkung: Der III Bt setzt sich in der Tiefe noch mindesten 90 cm fort (Pürkhauersondierung)

Physikalische Analysen und pH-Werte

Nr.	Horizont	> 2 mm	Sand	Schluff	Ton	Bodenart	TRD [g/cm ³]	pH		Carbonat [mg/g]
								H ₂ O	CaCl ₂	
1	L/Of	26,4					0,06	6,1	5,5	
2	Ah	0,7	16	53,8	30,1	Tu3	0,88	5,3	4,8	
3	M1	3,2	17,2	51,6	31,3	Tu3	1,28	5,9	5,6	
4	M2	14,6	29,4	47,7	23,1	Ls2	1,06	8,2	7,3	5,56
5	M3	19,1	25,8	55	19,3	Lu	1,04	7,7	7,7	4,63
6	IIfAl	0,6	16,2	58	26,1	Lu	1,65	7,6	7,5	
7	IIfBt	0,2	11,5	56,4	32,2	Tu3	1,81	7,8	7,2	
8	IIIfBt	1,1	14,1	58,7	27,2	Lu	1,60	7,9	7,6	

Gesamtgehalte

Nr.	Horizont	Corg	Nt	C/N	S	P	C/P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Zn
1	L/Of	380	14,1	27	0,93	1,01	378	3,8	13,8	2,28	0,86	9,5	5,1	0,99		0,06
2	Ah	15	1,4	11	0,19	0,49	31	11,0	3,2	4,26	4,14	45,3	25,6	1,01		0,07
3	M1	9	1,0	10	0,16	0,42	22	11,2	3,8	4,55	4,16	47,7	28,3	1,07		0,07
4	M2	6	0,6	19	0,08	0,42	14	9,7	18,2	4,63	3,69	36,2	29,2	1,19		0,07
5	M3	6	0,5	21	0,03	0,37	16	10,3	17,5	4,25	4,10	33,8	23,8	1,26		0,07
6	IIfAl	4	0,4	12	0,12	0,37	11	11,9	5,5	3,66	4,73	39,0	22,0	0,84		0,05
7	IIfBt	3	0,4	9	0,08	0,36	9	12,8	4,3	4,64	4,38	48,8	26,8	0,83		0,06
8	IIfBt	4	0,4	11	0,06	0,29	13	12,6	4,0	4,28	4,27	44,9	28,2	1,27		0,06

Austauscherbelegung

Nr.	Horizont	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	H ⁺	KAK eff	BS	P cit
1	L/Of	49,4	468,9	137,4	1,7	0,1	0,0	14,5	1,1	673	98	0,43
2	Ah	2,6	101,9	20,8	0,4	18,1	0,0	1,9	2,4	147	85	0,04
3	M1	2,9	126,5	25,3	0,4	2,0	0,0	1,2	0,4	161	98	0,02
4	M2	2,2	139,8	19,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	162	100	0,03
5	M3	2,1	121,5	15,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	140	100	0,03
6	IIfAl	2,1	124,9	16,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	144	100	0,04
7	IIfBt	3,1	167,7	27,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	199	100	0,03
8	IIIfBt	3,1	149,7	26,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	179	100	0,02

C-01: Waldböden des Bayerischen Tertiärhügellandes, Standortinformationssystem und Umweltmonitoring

Carsten Lorz¹, Christian Kölling², A. Schubert²

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät für Wald und Forstwirtschaft, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising

² Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abteilung Boden und Klima, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising

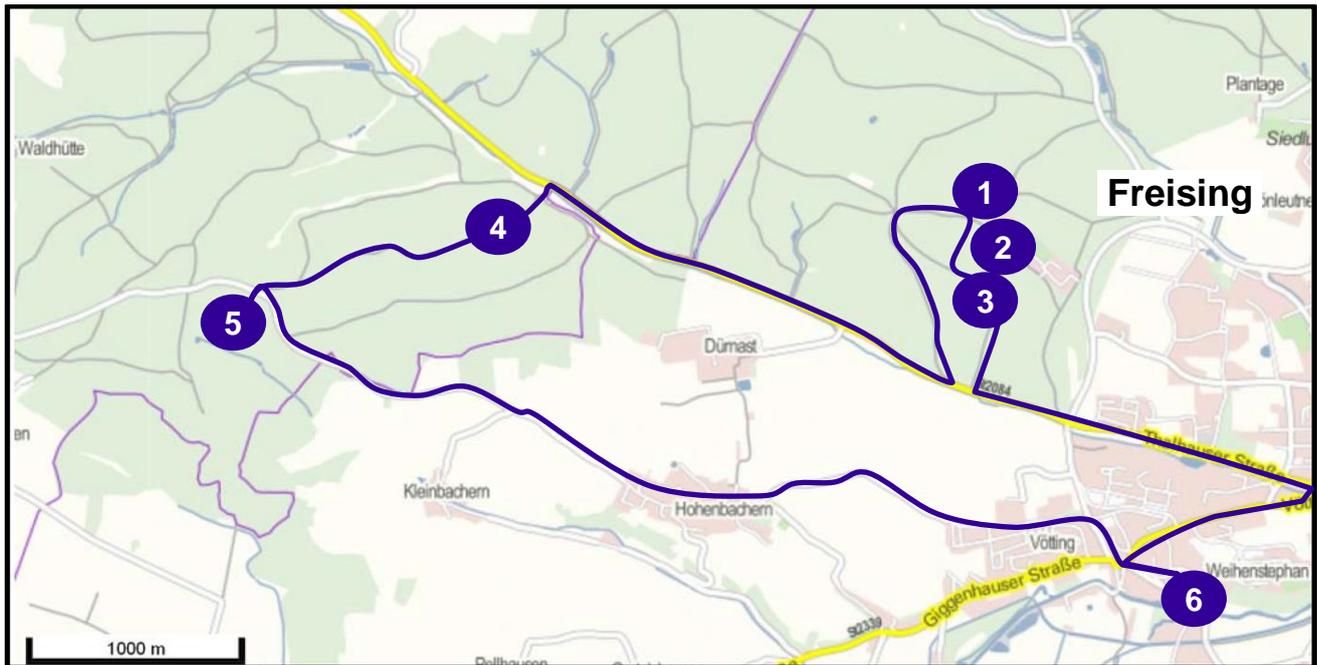


Abbildung 1: Exkursionsroute (Kartengrundlage: Geoportal Bayern)

Die Fahrt von München führt über die nördliche Münchener Schotterebene, die schon von Troll (1926) als Schwemmkegel beschrieben wird, deren fluvioglaziale Kiese (vorwiegend Kalk- und Dolomitgerölle) würmzeitlich bis holozän aufgeschüttet wurden. Entlang des mittleren bis unteren Isarlaufes sind Terrassentreppen spätpleistozänen und holozänen Alters entwickelt (Grottenthaler 1986). Die Längsachse dieses ca. 1800 km² großen Schotterkörpers verläuft SW-NO. Die Neigung der Schotterebene nimmt von Süd nach Nord von 0,8 % auf 0,3 % ab (Hofmann 1986a). Im nördlichen Teil der Münchener Schotterebene haben sich aufgrund der geringen Grundwasserflurabstände ausgedehnte Niedermoore entwickelt (z.B. das Erdinger Moos). Die Schotterkörper dienen sowohl der

Baustoffgewinnung als auch der Wassergewinnung, wobei die Wasserqualität aufgrund der intensiven Landnutzung und der geringmächtigen Deckschicht eher mäßig ist (Grottenthaler 1986). Nördlich der Münchener Schotterebene schließt sich das oberbayerische Tertiärhügelland an, das durch einen markanten Anstieg deutlich sichtbar gegen die Ebene abgesetzt ist. Freising liegt am südlichen Rand dieser von Augsburg bis Passau (W-O-Erstreckung) und im Norden bis zur Donau – und stellenweise darüber hinaus – reichenden Naturraumeinheit.

Tektonisch gehört das oberbayerische Tertiärhügelland zu dem weit angelegten süddeutschen Molassebecken (alpenparallele Großmulde; Hofmann 1986a). Dieser nicht mehr direkt in die Alpenbildung einbezogene Teil wird

als Vorlandmolasse bezeichnet. Der Wechsel von Sedimentation, Absenkung und Meeresspiegelschwankungen führte zur Ausbildung zwei großer Zyklen im Oligozän und Miozän in denen jeweils Meeresbedeckung (Meeresmolasse) und festländische Bedingungen (Süßwassermolasse) geherrscht haben. Im Exkursionsgebiet finden sich an der Oberfläche vorwiegend die Sedimente der Oberen Süßwassermolasse (OSM) aus dem höherem Untermiozän bis Obermiozän (BGLA 1996; BGLA 2011) mit Mächtigkeiten zwischen 150 und 250 m (Hofmann 1986a). Diese sind dominiert von karbonatfreien sandigen Kiesen (Mittlere Serie – Hauptschotter) bis schwach kiesigen Sanden (Obere Serie) mit sehr hohen Quarzanteilen (ca. 90 %) und deutlichen Glimmergehalten. Die glimmerreichen Sande der Oberen Serie werden im Volksmund auch als „Flinz“ oder „Flinzsand“ bezeichnet. Sie sind Teil des „Glimmersandstromsystems“, ein nach Westen gerichtetes Entwässerungssystem mit Ursprung in den östlichen Alpen (Ursalzach) (BGLA 1996).

Das präquartäre Relief des Oberbayerischen Tertiärhügellandes ist allenfalls in Resten erhalten. So werden die schwach nach Ost abdachende Gipfflur bei ca. 500 m Seehöhe und eine rostfarbene Verwitterungsrinde von Brunnacker (1962) als Überreste einer endtertiären Rumpffläche interpretiert. Das WSW-ONO verlaufende Trockental von Langenbach östlich von Freising wird als Überrest des ursprünglichen Flussnetzes diskutiert. Im Rahmen der Hebung und der periglazialen Überprägung erfuhr das tertiäre Relief – neben der Umkehr der Entwässerungsrichtung nach Osten im Pliozän (BGLA 1996) – jedoch eine deutliche Überprägung durch Erosion (Zertalung, periglaziale Talasymmetrie), Umlagerung (Entwicklung von Fließerden), Sedimentation (Lößeinwehung) und Verwitterung (Lößlehmbildung). Neben der erheblichen Relief(um)formung entstanden hier auch die Ausgangsmaterialien der holozänen Bodenbildung, deren räumliche Differenzierung entscheidend vom Relief abhängt. Die Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50.000 (Fetzer et al. 1986), die Geo-

logische Karte von Bayern 1:25 000 (Brunnacker 1962) und die Bodenkarte von Bayern 1:25 000 (Brunnacker 1963) weisen zwei größere Gruppen von Ausgangsmaterialien der Bodenbildung aus.

Kiesige Sande und Sande der OSM – vorwiegend der Oberen Serie – mit Mächtigkeiten von 10-15 m dominieren im Exkursionsgebiet. Kiesige Sande besitzen eine zweigipflige Korngrößenverteilung mit Maxima im Fein- bis Mittelkies und im Mittelsand. Dagegen dominieren in den Sanden die Fein- und Mittelsandfraktion bei geringen Kiesgehalten. Diese werden von Brunnacker (1962) in eine glimmerreiche Feinsandfazies, die im frischen Zustand auch noch schwach kalkhaltig ist, und eine feldspatreiche Grobsandfazies, die den moldanubischen Einfluss aus dem ostbayerischen Grundgebirge belegt, unterschieden. In enger Verzahnung und in Wechsellagerung finden sich feinklastische Sedimente (feinsandige bis schluffige Mergel/Tone). Die Tone werden als entkalkte Mergel der endtertiären Rumpffläche angesehen. Die Sedimente der OSM treten besonders an Kuppen-/Rückenstandorten und an steileren Hanglagen, z.B. luvseitige Hänge, an die Oberfläche und finden sich dann häufig auch als Umlagerungs- und Verwitterungsprodukte (Brunnacker 1962, 1963; Hofmann 1986c).

Lößlehme (würmzeitlich) finden sich im Exkursionsgebiet aufgrund der Distanz zu den Auswehungsgebieten und Reliefverhältnissen inselartig vorwiegend an nord- bis ost-exponierten Flachhängen der asymmetrischen Täler mit Mächtigkeiten von bis zu 3 m (Hofmann 1986b). Nach Hofmann (1986b) finden sich im Liegenden des Jüngeren Lößlehmes Fließerden (Älterer Lößlehm), häufig mit eingemengtem Molassematerial. Brunnacker (1963) geht daher auch von einer kombinierten äolisch-solifluidalen Entstehung und einer syndimentären Entkalkung der Lößlehme aus. Jüngerer und Älterer Lößlehm bilden zusammen als Schichtprofile das Ausgangsmaterial der Bodenbildung. Dabei ist der Jüngere Lößlehm 3 bis 6 dm mächtig. Im Gegensatz zu diesem zeigt der Ältere Lößlehm eine starke Verdichtung (Hofmann 1986b). Rohlöse sind

im weiteren Exkursionsgebiet nur vereinzelt belegt (Brunnacker 1963).

Schließlich sind die lehmigen kolluvialen Decken in Akkumulationsgunst an Hängen und deren korrespondierenden Talverfüllungen als verbreitete Ausgangssubstrate der Bodenbildung zu nennen (Fetzer 1986).

Die Boden- und Standortverhältnisse im Exkursionsgebiet sind durch das Auftreten gegensätzlicher Ausgangsgesteine und die Ausbildung von Staunässe in muldenförmigen Tiefenlinien, Verebnungen und Unterhängen stark reliefbestimmt. Während mäßig frische, mäßig nährstoffversorgte Standorte auf den sandig-kiesigen Substraten der jüngeren OSM (Standort 1) im Rücken- und Oberhangbereich zu finden sind, dominieren besser nährstoffversorgte, frische (bis schwach staunasse) Standorte in Lößlehm(fließerden) auf langgestreckten luvseitigen Mittelhängen (Standort 2 und 4). Dagegen bildet sich in muldenartigen Tiefenlinien und Verebnungen starke Staunässe in Lößlehm(fließerden) (Standort 3). Die drei ausgewählten Profile sind Teil eines ca. 100 m breiten Streifen der in einem Raster mit ca. 20-25 m Punktabständen bodenkundlich-standortkundlich im Rahmen von zwei Abschlussarbeiten kartiert wurde.

Standort 1 ist typisch für Oberhangbereiche von Kuppen und Rücken, die durch Kiese und Sande der Jüngeren Oberen Süßwassermolasse (Obere Serie) dominiert werden. Das Solum wird hier vorwiegend durch schluffige Lehme bis sandig-lehmige Schluffe mit (sehr) hohen Kiesgehalten eingenommen. Die rötliche Färbung ist typisch für die Obere Serie und auf ältere (tertiäre) Bildungen zurückzuführen. Die geringmächtige schluffige Decke zeigt vermutlich den Übergang zu den hangabwärtigen lößlehmdominierten Profilen (Standorte 2-3) an. Eine starke Verkürzung dieser Decke durch historische Bodenerosion ist wahrscheinlich. Die hohen Niederschläge in Verbindung mit dominierender Nadelstreu bedingen die beginnende Podsolierung im Oberboden wie sie typisch für alle Profile der Catena ist. Ähnliche Profile mit Lößschleier und Anzeichen

einer Tonverlagerung wurden von Brunnacker (1963) als Braunerde-Parabraunerden ausgewiesen.

Standort 2 zeigt deutlich den Effekt der reliefbedingten Akkumulationsgunst mit einer 80 cm mächtigen Lößlehmdecken an. Der starke Anstieg im Sand- und Kiesgehalt an der Profilbasis (ab 83 cm) weist auf die ab 130 cm anstehenden sandigen Kiese der OSM an. Der lehmige Charakter dieses Profilabschnittes lässt die Einmischung von Lößlehm und Fließerbewegungen vermuten. Der untere Teil der Lößlehmdecke (Älterer Lößlehm [?] n. Hofmann 1986b) weist eine starke Verdichtung auf, die auf häufige Tau-Gefrier-Vorgänge – evtl. auch Fließerbewegungen – und die damit verbundene Strukturveränderung zurückzuführen sind (Brunnacker 1963). Dieser Abschnitt entspricht vermutlich der Mittellage nach AG Boden (2005). Dagegen ist die ca. 35 cm mächtige hangende Schlufflage deutlich lockerer gelagert und die geringfügig höheren Kiesanteile weisen auf eine laterale Verlagerung hin (Jüngerer Lößlehm [?] n. Hofmann 1986b). Es handelt sich vermutlich um die wenig erodierte Hauptlage (AG Boden 2005) oder um ein Kolluvium. Tonkutanen belegen eine Tonverlagerung aus der Schluffdecke in die stärker verdichtete Lößlehmdecke. Merkmale der Pseudovergleyung sind wegen der Hangsituation nur mäßig stark ausgeprägt. Von Brunnacker (1963) werden diese Bodentypen als schwach pseudovergleyte Parabraunerde bezeichnet, die auf Blatt Freising Nord (BK 25) die am weitesten verbreitete Kartierungseinheit darstellen.

Standort 3 ist typisch für weit angelegte Tiefenlinien, Unterhänge und Verebnungen in denen der lateral-subhydrische Wasserabfluss vermindert ist. Das Ausgangsmaterial ist eine mächtige Lößlehmverfüllung ohne nennenswerte Kiesanteile. Die Kiese und Sande der OSM stehen erst in einer Tiefe von 180 cm an. Auch hier ist die deutliche Zweiteilung in eine obere Decke mit geringer Lagerungsdichte bis 40 cm Tiefe (Jüngerer Lößlehm [?] n. Hofmann 1986b, Hauptlage [?] n. AG Boden 2005) und ein verdichteter Profilabschnitt im Liegenden (Ältere

Lößlehm [?] n. Hofmann 1986b, Mittellage [?] n. AG Boden 2005) zu erkennen. Die Reliefsituation und die Stausohle bedingen die lehrbuchhafte Ausbildung eines Al-Sw-Horizontes mit starker Konkretionenbildung im unteren Teil. Darunter folgt ein stark marmorierter Bt-Sd-Horizont, dessen Staueffekt sowohl auf die Tongehalte als auch auf Setzungsverdichtung zurückzuführen ist. Von Brunnacker (1963) werden diese Böden wegen der Tonverlagerung als Parabraunerde-Pseudogleye ausgewiesen. Als reine Pseudogleye werden von Brunnacker (1963) nur solche Zweischicht-Profile beschrieben, die aus einer hangenden Lößlehmdecke über tertiären Tonen bestehen (sekundäre Pseudogleye n. AG Boden 2005).

Die im Umfeld des Profils befindlichen Tannen (*Abies alba*) und Rotbuchengruppen (*Fagus sylvatica*) sind erfolgreiche Maßnahmen im Waldumbau. Die Ausbildung der Humusprofile zeigt deren erheblich bodenverbessernde Wirkung gegenüber den organischen Auflagen der umgebenden Fichtenreinbestände.

Der besondere Wert der vorgestellten Catena beruht auf der Nutzung in der forstbodenkundlichen Ausbildung, um die Bedeutung von reliefbestimmten Bodenbildungsfaktoren (Lößlehmverbreitung, Staunässe) und deren Regelmäßigkeit in der Landschaft zu verdeutlichen. Darüber hinaus kann an den Profilen der Catena die Bedeutung von Zwei- und Mehrschichtböden für bodengenetische und standortkundliche Interpretationen (Lorz 2008) exemplarisch vorgeführt werden.

Standort 4: Der Weltwald Freising ist ein relativ junges Projekt. Seine Gründung im Jahr 1977 hängt zusammen mit dem Aufbau des Wissenschafts- und Forschungscampus Weiherstephan. Das etwa 100 ha große Areal ist die ehemalige Ortsflur des Weilers Oberberghausen. Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts war der bäuerliche Grundbesitz vom königlich-bayerischen Forstärar erworben und wenig später aufgeforstet worden. Dabei verwendete man auch verschiedene "exotische Holzarten". Im heutigen Landes-Arboretum finden sich mehr als 300 Baum- und Straucharten aus

Nordamerika, Asien und Europa. In der Mitte des Weltwaldes, unweit der Kirche St. Clemens befindet sich der Zentralpavillon mit wechselnden Ausstellungen rund um Wald und Ökologie (www.weltwald.de).

Standort 5: Bayerische Waldklimastationen

Seit Anfang der 1990er Jahre führt die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft mit dem Messnetz der bayerischen Waldklimastationen ein umfassendes Monitoring von Waldökosystemen durch. Der Auftrag hierzu ergibt sich aus Art. 141 der Bayerischen Verfassung („Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen“) und beruht auf Beschlüssen des Bayerischen Landtags von 1984, 1987, 1989 und 1991. Seit dem 1. Januar 2014 werden das forstliche Monitoring und die Zusammenarbeit der Länder bundesweit in einer Verordnung zu „Erhebungen zum forstlichen Umweltmonitoring (ForUmV) geregelt.“

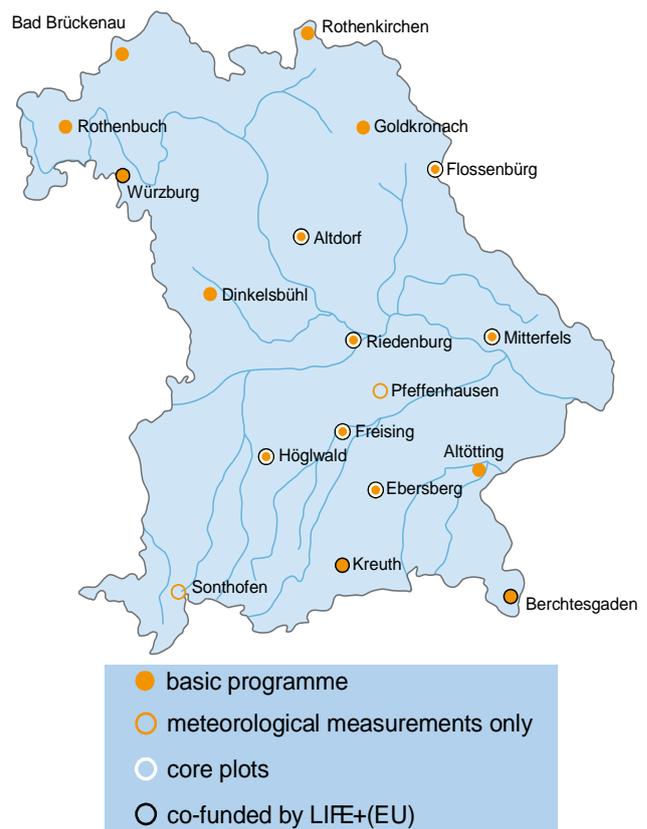


Abbildung 2: Lage der Waldklimastationen

Das Messnetz umfasst 19 Waldklimastationen in den wichtigsten Waldlandschaften (Abb. 1) und mit den verschiedenen Hauptbaumarten. Das Spektrum reicht von ausgedehnten Rein-

und Mischbeständen mit Buchen, Eichen, Fichten und Kiefern bis hin zu Bergmischwäldern in mittleren Lagen und Lärchenbeständen in den Hochlagen der Bayerischen Alpen.

Die bayerischen Waldklimastationen bilden ein Netz von Forschungsschwerpunkten in Waldökosystemen und stehen mit dem umgebenden Forschungsbestand auch für Forschungsvorhaben anderer Institute offen. Sie konzentrieren die Waldforschung im Sinne eines vorsorgenden Umweltschutzes und tragen dazu bei, sie fachübergreifend effektiver und kostengünstiger zu gestalten. Unbedingt notwendig für den Betrieb der Waldklimastationen ist eine ständige und engagierte Betreuung vor Ort, die in aller Regel in der Zuständigkeit des örtlichen Revierleiters liegt.

Messprogramm: Jede Waldklimastation besteht aus einem Messtellen-Paar, einer Bestandesmesstelle und einer Freilandmesstelle in einer Entfernung von 300 bis 700 m zueinander. Die Monitoringergebnisse werden seit 1993 in den Jahrbüchern „Bayerische Waldklimastationen“ und in Waldzustandsberichten veröffentlicht.

Das Grundprogramm des Monitoring beinhaltet:

- Meteorologie (Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Wind und Strahlung an der Freilandmesstelle)
- Einträge von Schad- und Nährstoffen im Niederschlag
- Bodenzustand/Bodendauerbeobachtung (chemische und physikalische Bodenparameter und deren Dynamik)
- Inhaltstoffe der Bodenlösung
- Bodenvegetation
- Wachstum der Waldbäume und Struktur des Bestandes
- Ernährungs- und Kronenzustand der Waldbäume
- Streufall
- Phänologische Beobachtungen an Waldbäumen im Bestand sowie vertiefend auf einigen ausgewählten Stationen
- Waldbodenfeuchte und -temperaturen
- Bestandesniederschlag incl. Stammablauf
- Phänologische Gärten im Anhalt an die

„Internationalen Phänologischen Gärten“

Europäisches Programm zur intensiven Überwachung von Waldökosystemen („Level-II“): Die Waldklimastationen sind in ein europäisches Netz von Dauerbeobachtungsflächen zur intensiven Überwachung von Umweltbelastungen und ihrer Wirkung auf Wälder eingebunden (Abb. 2).

An dem Messnetz, das vom Nordkap bis zu den Kanaren reicht, beteiligen sich derzeit 27 EU-Mitgliedstaaten und 14 Nicht-EU-Staaten. Messmethoden und -standards werden im Rahmen des „Internationalen Programms zur Erfassung und zum Nachweis von Luftschadstoffwirkungen auf Wälder“ (ICP Forests) festgelegt, das auf die „Genfer Luftreinhaltekonvention“ aus dem Jahre 1983 zurückgeht.

Auswirkungen von Bodeneigenschaften, Konsequenzen für die Bewirtschaftung (Bayerisches Standortinformationssystem): Die Bayerische Forstverwaltung hat ein neues Standortinformationssystem für die Beratung in Bayern entwickelt. Es ist seit 2013 in das Bayerische Waldinformationssystem (BayWIS) eingebunden und dient der Bayerischen Forstverwaltung als Grundlage für die Beratung der Waldbesitzer vor Ort. Die Anwendung des Systems ermöglicht eine Anpassung der bayerischen Wälder an den Klimawandel in der Praxis.

Erstmals stehen flächendeckend Informationen zu allen wichtigen Standortparametern digital zur Verfügung. Zu den Themenbereichen Geologie, Relief, Bodenart, Basenaustattung, Wasserhaushalt, Lufthaushalt, und Klima sind die Informationen vor Ort abrufbar. Auf Grundlage der Standortparameter sind für 21 Baumarten Anbaurisikoarten verfügbar. Zusätzlich zur Einschätzung des Anbaurisos unter jetzigen klimatischen Verhältnissen erlaubt das System insbesondere einen Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels bis zum Jahr 2100 (unter Annahme des Klimaszenarios B1: Erwärmung um ca. 1,8°C und Minderung der Niederschlagssumme um 40 mm im Jahresmittel).

Nachvollziehbare und transparente Rechenvor-

schriften ermöglichen jederzeit eine Anpassung der Informationen zu Standort und Anbaurisiko an einen neuen Wissensstand.

Mit der Vorstellung des Standortinformations-

systems werden die Auswirkungen unterschiedlicher Bodeneigenschaften und Standortparameter auf das Anbaurisiko von Baumarten und damit auf die Bewirtschaftungsmöglichkeiten erläutert.

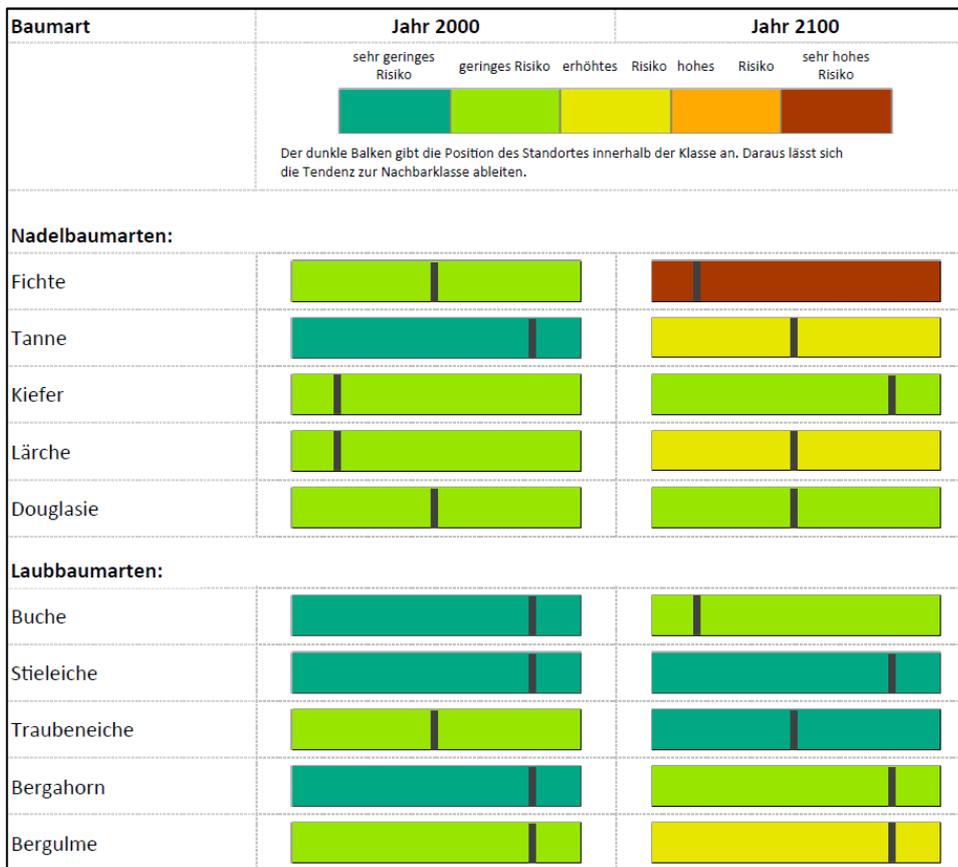


Abbildung 3: Beispiel für das Anbaurisiko einiger Baumarten eines Standorts

Das Profil an Standort 5 (Waldklimastation Freising) zeigt eine deutliche Schichtung mit einer Schichtgrenze bei ca. 55 cm Tiefe. Der schluffreiche Oberbodenbereich ist von einer Lößlehmlage geprägt die durch periglaziales Bodenfließen teilweise mit tertiärem Unterbodenmaterial vermischt ist. Der Oberboden zeigt in der Körnung einen schluffreicheren oberen und einen tonreicheren unteren Bereich, der wahrscheinlich auf die pedogenen Abläufe der Lessivierung zurückzuführen ist. Das darunter folgende, tertiäre Bodensubstrat ist wesentlich heterogener ausgeprägt. Mit der Tiefe nimmt die Wechsellagerung von lehmigem, sandigem und kiesigem Bodenmaterial zu. Im Bereich der Profilsohle sind auch noch Tonlinsen eingelagert. Merkmale der Pseudovergleyung sind nur schwach ausgeprägt. Als Bodentyp ist eine schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus-

geschieden.

Standort 6: Der Weihenstephaner Berg bildet den südlichen Rand des Bayrischen Tertiärhügellandes, der mit seinem steil entwickelten Prallhang sich deutlich gegen die südlich anschließende Münchener Schotterebene mit dem Erdinger Moos absetzt. Bei guter Sicht sind vom Hofgarten – dem ehemaligen Klosterstandort – die Landeshauptstadt München und die Alpen sichtbar. Direkt unterhalb des Aussichtspunktes sind deutliche Phänomene für Hangrutschungen zu erkennen. Der Weihenstephaner Berg ist zugleich Standort des Zentralgeländes der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, von Einrichtungen der Technischen Universität München und der Bayerischen Staatsbrauerei Weihenstephan, der ältesten Brauerei der Welt (Bierproduktion seit 1040).

Schriftenverzeichnis

- AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, 438 S., Hannover
- Beck, J., Kölling, C. (2013) Das bayerische Standortinformationssystem - Das neue Standortinformationssystem mit seinen zahlreichen Themenkarten ist ein wichtiges Hilfsmittel für die Beratung der Waldbesitzer. LWF-aktuell 94, 4 - 7
- BGLA 2011: GeoBavaria – 600 Millionen Jahre Bayern, 92 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- BGLA 1996: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000, 329 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Brunnacker, K. (1962): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 7536 Freising Nord, 84 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Brunnacker, K. (1963): Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 7536 Freising Nord, 132 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Dietrich, H.-P., Raspe, S., Zimmermann, L., Bickel, E., Blum, U., Kanold, A., Schubert, A., Wauer, A., Kölling, C. (2014) Bayerische Waldklimastationen: Umweltbedingte Veränderungen im Wald erkennen und bewerten. LWF Wissen 76, 58 - 66
- Fetzer, K.D. (1986): Kapitel 3.1.5. Kolluvium, Abschwemm Massen. In: Fetzer et al. (1986)
- Fetzer, K.D. et al. (1986), Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50 000, 396 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Grotenthaler, W. (1986): Kapitel 2.5. Schottebenen und Flußtäler. In: Fetzer et al. (1986)
- Hofmann, B. (1986a): Kapitel 2.1. Tertiärhügelland und Molassevorberge In: Fetzer et al. (1986)
- Hofmann, B. (1986b): Kapitel 3.1.3. Lößlehm, Decklehm. In: Fetzer et al. (1986)
- Hofmann, B. (1986c): Kapitel 3.7. Obere Süßwassermolasse des Tertiärhügellandes In: Fetzer et al. (1986)
- Lorz, C. (2008) Ein substratorientiertes Boden-Evolutions-Konzept für geschichtete Bodenprofile - Genese und Eigenschaften von lithologisch diskontinuierlichen Böden. - Relief - Boden - Paläoklima 23: 1-195
- Troll, K. (1926): Die jungglazialen Schotterfluren im Umkreis der deutschen Alpen. – Forsch. Dt. Landeskunde 24/4 , 158-256

Standort 1:

Profil-Nr.: 1 Bearbeiter: Lorz/Burghard TK 25: 7536 Aufnahmedatum: 1.10.2014
 RW: HW: Kreis: Freising
 Nutzung: Forst, Fichtenbaumholz Relief: langgestreckter Mittelhang

Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+10	Nadelstreu mit ausgeprägter Mooschicht
2	Of	+8	Grobstreuiche Nadelstreu
3	Oh	+7	Feinhumusreich, schwach kompaktiert
4	Ah	-4	7.5 YR 2.5/2, kiesführend (14 %)
	Lößlehmfließerde		
5	Aeh	-6	Uls, 7.5 YR 3/4, kiesführend (26 %)
	Lößlehmfließerde		
6	Al-Bv	-13	Lu, kiesführend (20 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 3/6
	Lößlehmfließerde		
7	II Btv	-30	Ls4, sehr stark kiesführend (53 %), Einzelkorngefüge bis schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 5/6
	Fließerde aus Kiesen/Sanden der OSM und Lößlehm		
8	II Bv	-50	Uls, sehr stark kiesführend (50 %), Einzelkorngefüge bis schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 5/6-8
	Fließerde aus Kiesen/Sanden der OSM (und Lößlehm)		
9	II Bv-Cv	-60	Lu, sehr stark kiesführend (66 %), Einzelkorngefüge bis schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 6/6
	Fließerde aus Kiesen/Sanden der OSM		

Profilkennzeichnung

Bodenform: Schwach durchschlämmte, podsolige (Parabraunerde)-Braunerde aus
Lößlehmfließerde über Fließerden aus Kiesen/Sanden/Lößlehm
Humusform: Rohhumusartiger Moder
WRB: Cambisol
Anmerkung: Erosion der Lößlehmdecke ist zu vermuten; Lessivierung ist im linken Profiltail
deutlich zu erkennen

Physikalische und chemische Analysen Standort 1

Hor.-Nr.	>2mm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart n. KA 5	pH	
										H ₂ O	CaCl ₂
1 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-		3,2
2 Of	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3 Oh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,0
4 Ah	14,1	12,0	14,3	11,9	22,4	19,2	9,5	10,7	-	3,5	3,0
5 Aeh	26,1	5,7	15,3	9,6	26,7	18,0	7,9	16,8	Uls	3,9	3,4
6 Al-Bv	19,8	4,3	15,1	11,5	25,9	18,7	6,6	17,9	Lu	4,3	3,9
7 II Btv	52,9	14,0	17,1	15,4	13,4	9,6	6,5	24,0	Ls4	4,4	3,8
8 II Bv	50,5	2,5	11,3	8,3	28,0	25,7	7,9	16,3	Uls	4,3	3,8
9 II Bv-Cv	66,3	2,0	11,9	8,5	25,8	25,7	8,8	17,3	Lu	4,5	3,8

Hor.-Nr.	C _{org} [mg/kg]	N _{tot}	C/N	S _{tot} P _{tot} C/P			P _{cit} mg/kg	KAK _{eff}	Ca _{ex} Al _{ex}		BS [%]
				[mg/kg]	[mg/kg]				μmol _c /kg		
1 L	384,2	13,21	29,1	1,12	0,62	616	0,24	298,2	76,4	17,7	38
2 Of							0,24				
3 Oh	293,7	13,36	22,0	1,25	0,62	476	0,20	282,6	77,1	17,0	40
4 Ah	185,3	8,78	21,1	0,85	0,49	379	0,14				
5 Aeh	29,9	1,32	22,7	0,15	0,22	134	0,04	122,1	2,4	90,9	4
6 Al-Bv	9,1	0,49	18,5	0,11	0,23	39	0,02	62,5	0,3	58,5	3
7 II Btv	5,0	0,39	12,8	0,10	0,21	23	0,01	82,8	0,5	78,0	3
8 II Bv	4,0	0,31	12,8	0,08	0,19	21	0,01	119,6	0,5	115,3	3
9 II Bv-Cv	1,9	0,21	9,0	0,06	0,17	11	0,02	100,8	1,3	93,2	5

Standort 2:

Profil-Nr.: 2 Bearbeiter: Lorz/Burghard TK 25: 7536 Aufnahme datum: 1.10.2014
 RW: HW: Kreis: Freising
 Nutzung: Forst, Fichtenbaumholz Relief: langgestreckter Unterhang

Profilbeschreibung

Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+7	Nadelstreu mit ausgeprägter Moosschicht
2	Of	+6	Grobstreureiche Nadelstreu
3	Oh	+3	Feinhumusreich, schwach kompaktiert
4	Ah	-5	2.5 YR 2.5/1-2, schwach kiesführend (2 %)
	Lößlehmfließerde		
5	Aeh	-7	St3, 10 YR 5/3, schwach kiesführend (1 %)
	Lößlehmfließerde		
6	Sw-Al	-23	Ls4, schwach kiesführend (1 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 2.5 YR 5/4
	Lößlehmfließerde		
7	II Bt(Sw)-Al	-35	Lu, sehr schwach kiesführend (<1 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 5/6-8
	Lößlehmfließerde		
8	II Sd-Bt1	-65	Tu3, sehr schwach kiesführend (<1 %), schwach entwickeltes Polyedergefüge, deutliche Toncutanen, 10 YR 5/6
	Lößlehm(flíeßerde)		
9	II Sd-Bt2	-83	Tu3, sehr schwach kiesführend (<1 %), schwach entwickeltes Polyedergefüge, deutliche Toncutanen, 10 YR 4/6
	Lößlehm(flíeßerde)		
10	III Bv	-90+	Ls3, stark kiesführend (26 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 10 YR 5/6-4/6
	Fließerde aus Lößlehm + Sanden/Kies OSM		

Profilkennzeichnung

Bodenform: Podsolige Pseudogley-Parabraunerde aus Lößlehm(flíeßerden)
 Humusform: Rohhumusartiger Moder
 WRB: Luvisol
 Anmerkung: Eine kolluviale Überdeckung kann nicht ausgeschlossen werden
 Ab 130 cm Tiefe kiesige Sande der OSM erbohrt

Physikalische und chemische Analysen Standort 2

Hor.-Nr.	>2mm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart n. KA 5	pH	
										H ₂ O	CaCl ₂
1 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2 Of	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,7	3,2
3 Oh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	2,9
4 Ah	2,1	4,3	10,9	9,1	34,2	21,9	3,4	16,2	Uls	3,8	3,2
5 Aeh	1,1	13,4	30,7	23,1	7,2	5,3	2,1	18,2	St3	3,9	3,4
6 Sw-Al	1,0	11,7	21,7	21,6	9,5	8,4	3,4	23,7	Ls4	4,4	4,0
7 II Bt(Sw)-Al	0,3	0,6	4,0	4,5	32,7	22,6	7,5	28,1	Lu	4,5	3,9
8 II Sd-Bt1	0,2	0,4	2,8	3,6	32,9	21,7	6,1	32,5	Tu3	4,9	4,0
9 II Sd-Bt2	0,2	0,4	4,6	5,2	28,4	23,7	6,8	30,9	Tu3	4,9	4,2
10 III Bv	26	8,5	28,5	14,7	16,9	10,5	3,0	17,9	Ls3	5,1	4,2

Hor.-Nr.	C _{org}	N _{tot}	C/N	S _{tot}	P _{tot}	C/P	P _{cit}	KAK _{eff}	Ca _{ex}	Al _{ex}	BS [%]
	[mg/kg]			[mg/kg]			mg/kg		μmol/kg		
1 L	441,3	18,27	24,2	1,66	0,71	621	0,29	361,8	112,8	15,5	44
2 Of	383,5	18,20	21,1	1,78	0,70	544	0,30	432,0	52,4	56,8	22
3 Oh	318,1	15,61	20,4	1,60	0,68	468	0,28	357,2	25,9	89,0	16
4 Ah	97,0	5,34	18,2	0,55	0,37	262	0,06	156,7	6,8	103,2	10
5 Aeh	39,6	1,92	20,6	0,21	0,24	166	0,05	127,3	2,1	102,2	4
6 Sw-Al	6,0	0,43	14,2	0,11	0,19	31	0,01	51,0	0,5	47,4	4
7 II Bt(Sw)-Al	2,8	0,36	7,8	0,08	0,25	11	0,01	92,6	3,3	80,9	11
8 II Sd-Bt1	2,2	0,33	6,6	0,11	0,26	8	0,01	131,4	17,0	83,8	34
9 II Sd-Bt2	1,7	0,28	6,0	0,09	0,22	7	0,02	133,9	31,1	53,4	58
10 III Bv	1,0	0,16	6,0	0,04	0,24	4	0,03	78,8	26,8	18,4	73

Standort 3:

Profil-Nr.: 3 Bearbeiter: Lorz/Burghard TK 25: 7536 Aufnahmedatum: 1.10.2014
 RW: HW: Kreis: Freising
 Nutzung: Forst, Fichtenbaumholz Relief: muldenförmige Tiefenlinie

Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L	+8,0	Nadelstreu mit ausgeprägter Moosschicht
2	Of	+5	Grobstreureiche Nadelstreu
3	Oh	+1	Feinhumusreich, schwach kompaktiert
4	A(e)h/ Lößlehm	-4(-6)	Uls, schwach kiesführend (1 %), 7.5 YR 4/3
5	Al-Sw1/ Lößlehm	-15(-20)	Lu, sehr schwach kiesführend (<1 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, 7.5 YR 5/8
6	Al-Sw2/ Lößlehm	-40	Uls, sehr schwach kiesführend (<1 %), schwach entwickeltes Subpolyedergefüge, starke Konkretionen, 2.5 Y 5/4
7	II Bt-Sd/ Lößlehmfließerde	-65	Lu, sehr schwach kiesführend (<1 %), verdichtet, (Sub)Polyedergefüge
8	III Bt-Sd/ Lößlehmfließerde mit Kiesbeimengung (OSM)	-90+	Lt2, sehr schwach kiesführend (<1 %), Subpolyedergefüge

Profilkennzeichnung

Bodenform: Parabraunerde-Pseudogley aus Lößlehm(flieseerden)
 Humusform: Rohhumusartiger Moder
 WRB: Planosol
 Anmerkung: Eine kolluviale Überdeckung kann nicht ausgeschlossen werden;

Physikalische und chemische Analysen Standort 3

Hor.-Nr.	>2mm	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	Bodenart n. KA 5	pH	
										H ₂ O	CaCl ₂
1 L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,9	3,3
2 Of	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,4	2,9
3 Oh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,3	2,9
4 A(e)h	1,17	4,0	8,3	9,7	31,7	24,3	7,6	14,4	Uls	3,8	3,2
5 Al-Sw1	0,12	1,9	10,7	9,0	30,9	21,8	8,2	17,5	Lu	4,4	4,0
6 Al-Sw2	0,03	1,7	9,3	8,2	31,2	23,4	9,3	16,9	Uls	4,3	4,0
7 II Bt-Sd	0,08	0,8	4,7	5,5	29,8	21,9	7,9	29,4	Lu	4,5	4,0
8 III Bt-Sd	0,01	1,3	14,3	12,0	20,8	16,9	6,1	28,6	Lt2	5,1	4,3

Hor.-Nr.	C _{org}	N _{tot}	C/N	S _{tot}	P _{tot}	C/P	P _{cit}	KAK _{eff}	Ca _{ex}	Al _{ex}	BS
1 L	471,3	18,54	25,42	0,82	1,59	296	0,40				
2 Of	446,3	19,96	22,36	0,72	2,02	221	0,29				
3 Oh	253,7	11,54	21,98	0,64	1,24	204	0,19	340,3	20,6	97,1	11
4 A(e)h	83,4	4,46	18,71	0,49	0,56	149	0,11	182,2	4,2	131,3	5
5 Al-Sw1	6,0	0,54	11,10	0,28	0,14	44	0,02	55,2	0,4	51,8	3
6 Al-Sw2	3,5	0,36	9,59	0,36	0,17	20	0,03	53,0	0,5	48,7	4
7 II Bt-Sd	2,5	0,35	6,90	0,38	0,15	17	0,03	120,9	3,4	110,4	8
8 III Bt-Sd	1,4	0,22	6,07	0,20	0,15	9	0,01	113,7	40,2	36,8	66

Standort 5: Waldklimastation WKS

Profil-Nr.: WKS Bearbeiter: Kölling, TK 25: 7536 Aufnahme datum: 14.03.1994
 Hoffmann, Adler
 RW: 4474550 HW: 5363250 Kreis: Freising
 Nutzung: Forst, Buchen-Eichenbestand ca. 160 a Relief: schwach geneigter, gestreckter Mittelhang

Profilbeschreibung

Hor. Nr.	Horizont/ Substrat	Tiefe	Horizontbeschreibung
1	L + Of	+2,5	Buchen-Eichenstreu
2	Ah	-1	Lu, stark humos, locker, Krümel-Subpolyeder, 10 YR 4/1
3	Al	-25	Uls, sehr schwach humos, dicht, Subpolyeder, 10 YR 6/3
4	Bv-Al	-45	Lu, sehr schwach humos, dicht, Subpolyeder, 10 YR 5/3
5	II Bvt	-55	Tu3, dicht, Subpolyeder-Polyeder, 10 YR 5/6
6	II Btv	-80	Lt2, dicht, Polyeder, 10 YR 5/4
7	II Bv	-105	Lu, dicht, Polyeder, 10 YR 5/4
8	III Bv	-130	Ls3, sehr dicht, Subpolyeder-Polyeder, 10 YR 5/6
9	IV Bv-Cv	-150+	Ls3, sehr dicht, Subpolyeder, 10 YR 6/2

Profilkennzeichnung

Bodenform: Parabraunerde-Braunerde aus Lößlehmfließerde über tertiären Lehmen und Sanden der oberen Süßwassermolasse

Humusform: F-Mull bis mullartiger Moder

WRB: Eutric Cambisol

Anmerkung: Im Unterboden sind vereinzelt Tonlinsen eingestreut

Physikalische und chemische Analysen Standort 5

Hor.-Nr.	>2mm	S	U	T	Bodenart n. KA 5	Bodendichte [g/cm ³]
		[%]				
1 L + Of	32,4					0,04
2 Ah	3,0	24,1	57,1	18,8	Lu	0,45
3 Al	1,3	23,4	61,9	14,7	Uls	1,40
4 BvAl	0,3	15,5	64,3	20,2	Lu	1,37
5 II Bvt	0,4	14,5	54,3	31,2	Tu3	1,51
6 II Btv	0,4	20,3	49,5	30,2	Lt2	1,53
7 II Bv	1,1	17,9	57,2	24,9	Lu	1,51
8 III Bv	2,8	41,5	36,4	22,1	Ls3	1,60
9 III BvCv	5,2	39,6	39,3	21,1	Ls3	1,84

Hor.-Nr.	pH		C _{org}	N _{tot}	C/N	P _{tot}	C/P	KAK _{eff}	BS
	H ₂ O	CaCl ₂	[%]	[%]		[mg/g]		mmol _c kg ⁻¹	[%]
1 L + Of	4,2	3,7	43,5	2,60	17	1,14	383	471,8	88
2 Ah	4,7	4,0	6,4	0,36	18	0,49	130	79,4	70
3 Al	4,4	3,7	0,6	0,04	15	0,23	26	55,5	12
4 BvAl	4,9	4,1	0,4	0,03	14	0,30	14	58,1	67
5 II Bvt	5,2	4,4	0,3	0,02	16	0,37	9	100,7	87
6 II Btv	5,3	4,6	0,2	0,02	9	0,32	6	122,5	93
7 II Bv	5,2	4,5	0,1	0,01	14	0,34	4	107,1	90
8 III Bv	5,3	4,6	0,1	0,01	6	0,23	5	86,1	91
9 III BvCv	5,4	4,6	0,1	0,01	10	0,25	4	175,0	94

C-02: Löss und Paläoböden in Bobingen – Eine geochemische Reise in die letzte Eiszeit

Roland Zech¹⁾, Christoph Mayr²⁾, Gerhard Doppler³⁾

¹⁾ Geographisches Institut, Universität Bern (roland.zech@giub.unibe.ch)

²⁾ Institut für Geographie, Friedrich Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

³⁾ Bayerisches Landesamt für Umwelt

Einleitung

Das Quartär ist die jüngste Epoche der Erdgeschichte und begann vor 2.58 Millionen Jahren (Gibbard et al. 2010). Im Gegensatz zum vorhergehenden Tertiär, das geprägt war durch ein subtropisches Klima in Mitteleuropa, ist das Quartär die Epoche der Eiszeiten. Wiederholt wuchs der Fennoskandische Eisschild in Nordeuropa und die Eismassen stießen weit nach Süden bis Mitteleuropa vor. Zeitgleich wuchsen auch die Gletscher in den Alpen und prägten die Landschaft des nördlichen Alpenvorlandes während der sogenannten Glaziale – der Kaltzeiten. In den Warmzeiten – den sogenannten Interglazialen – schmolzen die Eismassen und Gletscher wieder ab.

Global betrachtet, ist die zeitliche Abfolge der Glaziale und Interglaziale mittlerweile relativ gut anhand von Eisbohrkernen in der Antarktis und anhand von marinen Sedimenten untersucht (Lisiecki and Raymo 2005; Jouzel et al. 2007). Zumindest die letzten Glazial-Interglazial-Zyklen dauerten je ca. 100 000 Jahre. Dies wird als Beweis dafür angesehen, dass die quartären Klimaveränderungen auf die zeitlich variable Sonneneinstrahlung zurückzuführen sind. Letztendlich kontrolliert wird die zeitliche Variabilität der Sonneneinstrahlung durch die Erdbahnparameter Exzentrizität (100 Kilojahre, ka), Obliquität (41 ka) und Präzession (26 ka) (Milankovic 1941). Allerdings sei an dieser Stelle zumindest kurz auf folgende Diskrepanzen hingewiesen. Einerseits erlauben die Datierungsunsicherheiten der untersuchten Sedimente und Eisbohrkerne derzeit keine eindeutige Korrelation der rekonstruierten Klimaänderungen mit der berechneten Sonneneinstrahlung, insbesondere mit der 100 ka-Zyklicität (Huybers 2007). Andererseits unterstreicht die gute Korrelation der rekonstruierten

Klimaänderungen mit der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre die Rolle des globalen Kohlenstoffkreislaufes für das Klima, ohne dass jedoch die genauen Ursachen für die Veränderungen der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre während des Quartärs geklärt sind (Zech 2012).

Noch viel schwieriger gestaltet sich die wissenschaftliche Untersuchung der Glaziale und Interglaziale in den Alpen und deren Vorland. Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts haben mit Ignaz Venetz und Louis Agassiz die ersten Wissenschaftler die Theorie aufgestellt, dass die Alpengletscher in geologischer Vergangenheit bis weit ins Alpenvorland vorgestoßen sind. Grundlegende Arbeiten zur Vergletscherungsgeschichte der Alpen wurden dann Anfang des 20. Jahrhunderts publiziert (Penck and Brückner 1909-11). Basierend auf Terrassen- und Moränensedimenten, sowie dazwischen vorkommenden interglazialen Bodenbildungen wurden vier Eiszeiten postuliert und nach den Voralpenflüssen Günz, Mindel, Riß und Würm benannt. Später wurden mit Biber und Donau zwei weitere, ältere Eiszeiten hinzugefügt (Doppler et al. 2011).

Das entscheidende Problem allerdings ist bis heute die genaue zeitliche Einordnung der untersuchten Sedimente, da kaum numerische Datierungen vorliegen. Außerdem ist die quantitative Rekonstruktion des Paläoklimas eine besondere Herausforderung. Die Bodenbildung auf und in den Sedimenten kann hier wertvolle Indizien zur Landschafts- und Klimageschichte liefern. Insbesondere die Bodenbildungen in den mehr oder weniger kontinuierlichen Lössablagerungen haben möglicherweise großes Potential für die Klima- und Landschaftsrekonstruktion. Letzteiszeitlicher Löss ist u.a. auf der Augsburgsberger Hochterrasse in den Kies-

gruben der Firma Lauter in Bobingen aufgeschlossen und seit vielen Jahren immer wieder im Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen.

Im Rahmen dieser Exkursion werden die Löss-Paläoböden in Bobingen besucht (Abb. 1 und 2), wobei ein besonderer Schwerpunkt auf den Versuch gelegt wird, mittels innovativer geochemischer Methoden quantitative Vegetations- und Klimainformationen zu erhalten. Hierzu werden Lipidanalysen vorgestellt, einerseits GDGTs (Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraether), also Membranbestandteile von Bodenbakterien, andererseits langkettige *n*-Alkane und Fettsäuren, also Blattwaxse, die als Biomarker für Bäume und Gräser fungieren. An den Blattwachsen kann dank neuer technischer Entwicklungen komponenten-spezifische Isotopenanalytik durchgeführt werden (Deuterium und ¹⁴C). Darüber hinaus soll auch ein glazial-geographischer Überblick vermittelt werden, wobei während der Anfahrt an zwei Standorten auf der Würm- und Rißmoräne die unterschiedlich fortgeschrittene Bodenentwicklung diskutiert werden soll. Außerdem werden ¹⁰Be-Daten vorgestellt, um zu demonstrieren in wie weit mit sogenannten kosmogenen Nukliden verlässliche numerische Alter glazialer Sedimente ermittelt werden können.

Exkursionsroute

Die Fahrt von München nach Bobingen führt



10 km

Exkursionsroute

zunächst entlang der A96 in Richtung Landsberg am Lech. Bei Weßling haben wir die glazifluviale Münchner Schotterebene bereits hinter uns gelassen und das hügelige Endmoränengebiet des Ammersee- bzw. Loisachgletschers erreicht. Kurz nach dem Ammersee nehmen wir die Ausfahrt 28 Windach und machen in der Nähe von Geltendorf einen ersten Stopp. Vorgestellt wird die Jungmoränenlandschaft der Würm-Vergletscherung. An einem Profil werden die Faktoren der Bodenbildung, die entscheidenden bodenbildenden Prozesse, die Klassifikation des Bodens sowie das Prinzip der ¹⁰Be-Expositionsdatierung diskutiert.

Die Fahrt geht dann weiter auf der LL14 nach Westen. Bevor der Lech überquert wird, erfolgt der zweite Zwischenstopp auf der Altmoräne der Riß-Vergletscherung. Neben den morphologischen Unterschieden zwischen der Jung- und Altmoränenlandschaft werden die Ursachen für die weiter fortgeschrittene Bodenentwicklung auf der Rißmoräne anhand eines weiteren Profils vorgestellt.

Anschließend folgen wir der B17 nach Norden entlang des Lechfeldes bis Bobingen. Hier besichtigen wir die Kiesgruben der Fa. Lauter und die Paläoböden der Löss(lehm)/Schotter-Profile, die mehrere Meter mächtig auf der sogenannten Augsburger Hochterrasse (Riß) aufgeschlossen sind.

Abb. 1: Exkursionsroute von München über Geltendorf (Zwischenstopp 1 und 2) nach Bobingen zu den Löss-Paläoböden in der Kiesgrube der Firma Lauter.

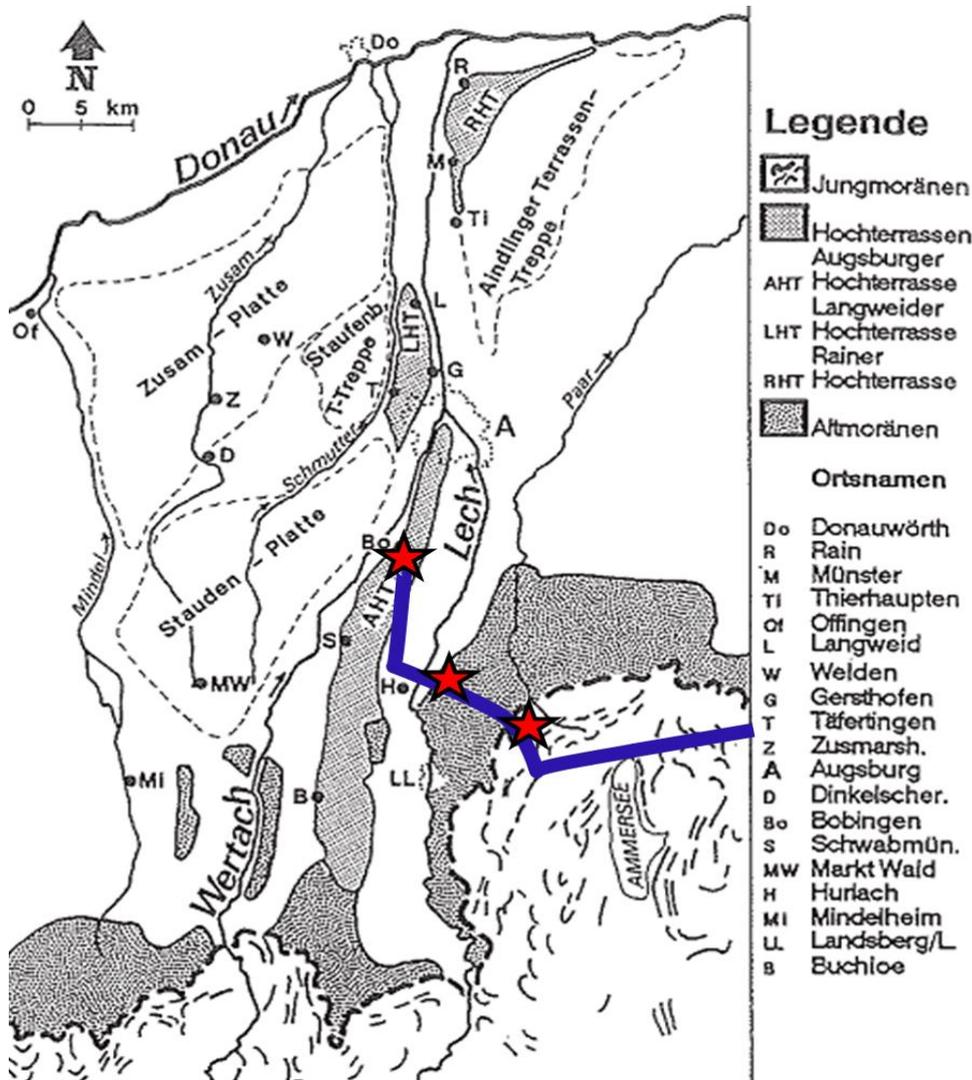


Abb. 2: Glazial-geomorphologische Übersicht über das Exkursionsgebiet (aus Becker-Haumann & Frechen, 1997). Die Exkursionsroute, sowie die Zwischenstopps 1, 2 und Bobingen sind mit Sternchen markiert.

Zwischenstopp 1 und 2

Die Lage der Bodenprofile auf der Würm- und Reiß-Moräne konnte zum Zeitpunkt der Niederschrift des Exkursionsführers noch nicht genau festgelegt werden. Daher wird im Folgenden in Form eines kurzen Exkurses die Motivation erläutert, warum es lohnend erscheint die Pedogenese an diesen unterschiedlich alten Standorten mittels innovativer Methoden zu untersuchen.

Exkurs: Bodenentwicklung und ¹⁰Be-Expositionsdatierung

Das heutige Einzugsgebiet der Ammer liegt in den Nördlichen Kalkalpen und der vorgelagerten Flysch- und Faltenmolasse-Zone. Während der Glaziale wurde allerdings auch kristallines Gestein aus dem Zentralalpin von den Gletschern über Transfluenzspässe ins Gebiet des Isar-Loisach-Gletschers transportiert. Das Ausgangsmaterial für die Bodenentwicklung im

Jung- und Altmoränengebiet des Ammerseegletschers enthält daher neben karbonatischen, siliziklastischen oder kieseligen Komponenten untergeordnet auch metamorphe, selten auch magmatische Gesteine. Auf den Jungmoränen bildeten sich zunächst überwiegend Pararendzinen, die sich vielfach zu Parabraunerden weiter entwickelten. Auf den Altmoränen ist die Bodenentwicklung i.d.R. weiter vorangeschritten, d.h. die Entkalkungstiefe mächtiger, die Lessivierung deutlicher, und die Parabraunerden haben sich vielfach zu sekundären Pseudogleyen weiter entwickelt. Darüber hinaus finden sich an nicht erodierten Standorten würmzeitliche Löss(lehm)decken, und selbst nur flach geneigte Standorte können durch würmzeitliche Solifluktionsprozesse beeinflusst sein.

Die Kartierung der Entkalkungstiefen im Schweizer Mittelland hat kürzlich ergeben, dass diese im Einflussbereich des Aare- und

Rhonegletschers systematisch von West nach Ost von weniger als 1,50 m bis über 3 m zunehmen (Bitterli et al. 2011). Den Autoren zufolge liefert das räumliche Muster der Entkalkungstiefen Hinweise auf das relative Ablagerungsalter des Ausgangsmaterials, also auf den Zeitpunkt des Gletscherrückzuges und den Beginn der Bodenbildung. Interessanterweise scheint es derzeit nicht ausgeschlossen zu sein, dass ein früher Würm-Gletscher vor ca. 60 ka weiter ins Schweizer Mittelland vorgestoßen ist, als der Würm-Gletscher zur Zeit des sogenannten globalen LGMs (Last Glacial Maximum) vor ca. 25 ka. Da nur wenige numerische Datierungen zur Klärung dieses Sachverhaltes vorliegen, wurde im Rahmen von bisher zwei Masterarbeiten an der ETH Zürich der Versuch unternommen, ^{10}Be -Expositionsdatierungen an den Moränenablagerungen durchzuführen (Wüthrich 2013; Brändli 2014).

Üblicherweise werden mit Expositionsdatierung grosse, stabil liegende Findlinge analysiert. Die Methode basiert im Prinzip auf der Anreicherung von kosmischen Nukliden, z.B. ^{10}Be , in den obersten Dezimetern der Gesteinsoberflächen (Dunai 2010). Entsprechende Arbeiten an Gesteinsblöcken wurden u.a. bei Steinhof im Schweizer Mittelland und am Starnberger See durchgeführt (Ivy-Ochs et al. 2004; Reuther 2007; Susan Ivy-Ochs 2008). Vier relativ konsistente Expositionsalter ergeben bei Steinhof ca. 25 ka, obwohl die Entkalkungstiefe mit 3,80 m ein höheres Alter erwarten lassen würde. Zehn Expositionsalter auf den Jungmoränen am Starnberger See streuen von ca. 10 bis 20 ka, mit einem Ausreißer, der auf 40 ka datiert ist. Ganz offensichtlich besteht also sowohl Diskussionsbedarf im Hinblick auf die Interpretation der Entkalkungstiefen, als auch der Expositionsalter der Findlinge.

Die Zahl der für die Expositionsdatierung geeigneten Findlinge ist in der Regel sehr begrenzt. Im Rahmen der oben genannten Masterarbeiten wurde daher versucht, ^{10}Be in Tiefenprofilen zu analysieren. Abbildung 3 zeigt das Beispiel des ^{10}Be -Tiefenprofils Niederbuchsiten im Schweizer Mittelland. Die Abnahme der ^{10}Be -Konzentration mit der Tiefe erlaubt nicht nur Rückschlüsse auf das Exposi-

tionsalter, sondern auch auf die Denudation, die an einem Standort seit dem Ablagerungszeitpunkt stattgefunden hat (Hidy et al. 2010). Im Falle von Niederbuchsiten scheint sich zu bestätigen, dass das Moränenmaterial vor mehr als 130 ka abgelagert wurde, und dass seither mehrere Meter erodiert wurden.

Es ist nun vorgesehen, bis zur Exkursion im Rahmen der DBG-Tagung 2015 für die beiden unterschiedlich alten Bodenprofile am Ammersee (Jungmoräne: Zwischenstopp 1, Altmoräne: Zwischenstopp 2) neben den üblichen bodenkundlichen Standardanalysen auch ^{10}Be -Tiefenprofile zu erstellen mit dem Ziel, das Potential dieser Methode für die Datierung glazialer Sedimente vorzustellen. Da die Prozesse der Pedogenese zeitabhängig sind, soll geprüft werden, ob und welche Informationen sich aus genaueren Altersangaben ableiten lassen.

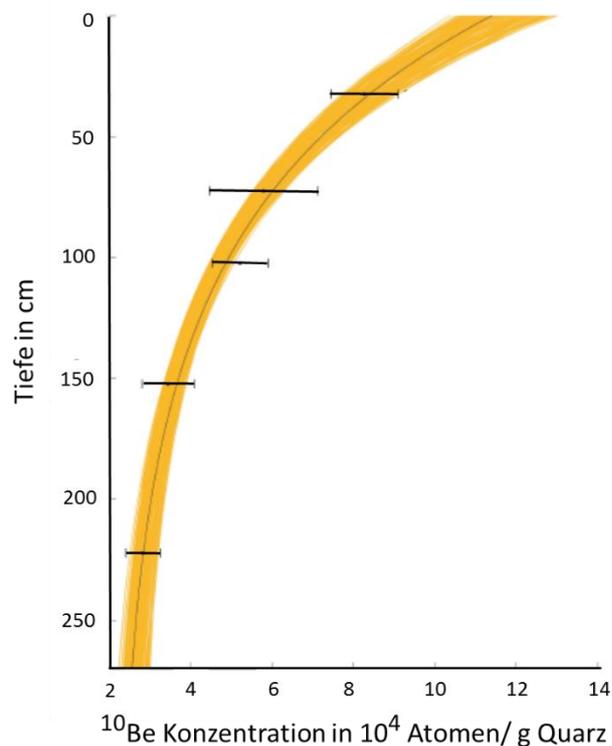


Abb. 3: Tiefenprofil der ^{10}Be -Konzentration im Profil Niederbuchsiten, Schweiz (Kuppenstandort auf einer Rißmoräne, verändert nach Wüthrich, 2013)

Löss und Paläoböden in Bobingen

Nach den Zwischenstopps folgen wir der Augsburger Hochterrasse (Abb. 2) in nördlicher Richtung bis Bobingen. Die Terrassen entlang des Lechs und der Wertach sowie die Löss-Paläoböden auf den Hochterrasse sind seit

vielen Jahren Gegenstand sedimentologischer und quartärgeologischer Untersuchungen (Schaefer 1957; Aktas and Frechen 1991; Schreiber and Müller 1991; Bibus 1995; Becker-Haumann and Frechen 1997). Zumindest der höhere Teil der Hochterrassenschotter wird der Riß-Eiszeit zugeordnet. Während des Eems (i.e. des Riß-Würm-Interglazials) schnitten sich Lech und Wertach beidseitig der

Augsburger Hochterrasse ein, und die Terrassenoberfläche unterlag intensiver Verwitterung. Die fossilen Bt-Horizonte an der Oberfläche des riß-eiszeitlichen Schotterkörpers mit Tongehalten über 50% (Korngrößendaten und geochemische Basisdaten siehe Anhang 1 und 2) zeugen von dieser Bodenbildungsphase (Schicht j in Abb. 4).

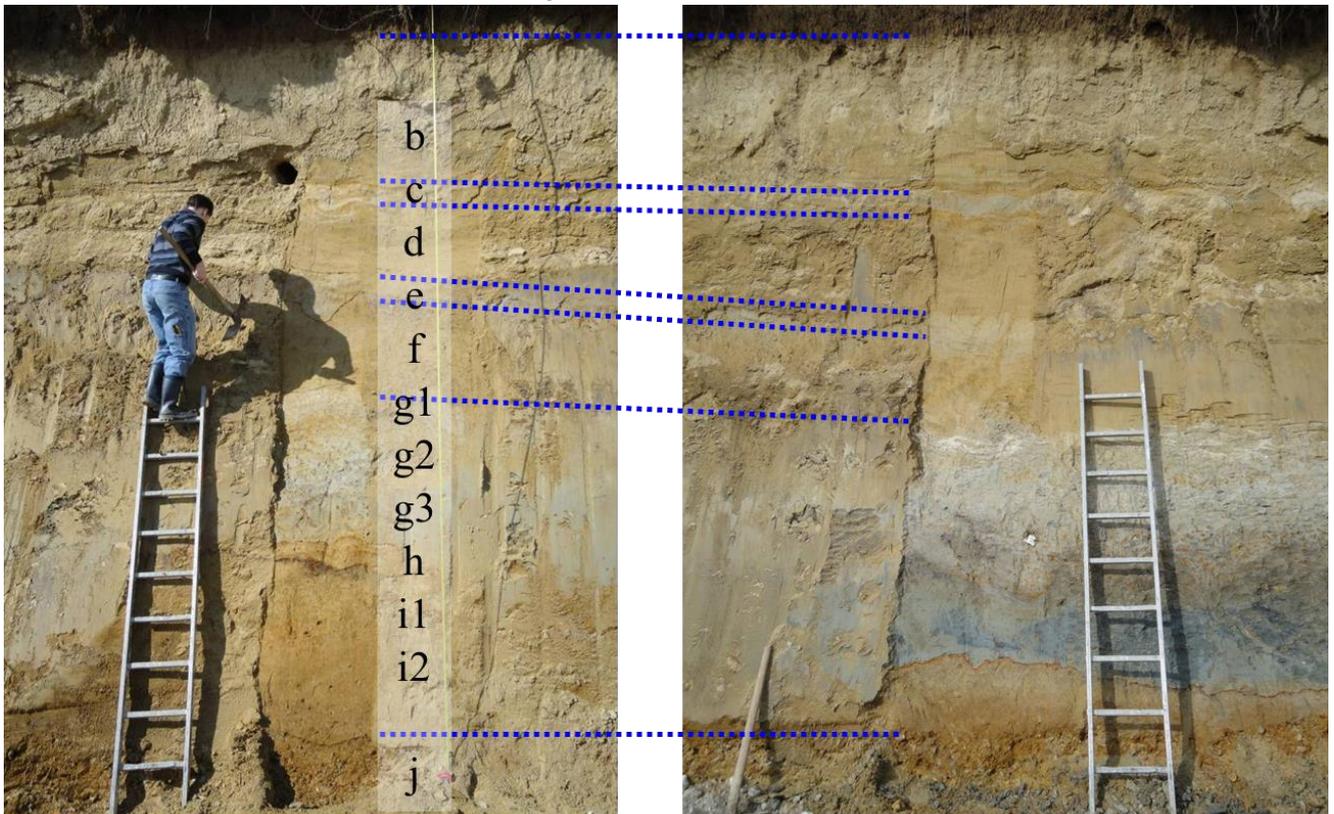


Abb. 4: Profilwand der Löss-Paläoböden in Bobingen. Links das Profil D/E, das von Christoph Mayr und Kollegen für die geochemischen Analysen beprobt wurde, rechts ca. 50 m weiter ein Profil, das einen blau-grauen Reduktionshorizont und eine darüber liegende „Humuszone“ zeigt. Die Kleinbuchstaben markieren die geochemisch untersuchten Schichten.

Über dem Schotter und dem riß-würm-interglazialen Bt-Horizont folgen in räumlich variabler Mächtigkeit (1 bis 6 m) würmzeitliche Lössse und Lösslehme mit darin entwickelten Paläoböden. Zunächst finden sich braune Lösslehme und Fließserden (i1 und i2), die mittels Lumineszenz auf ca. 40 bis 60 ka datiert sind und damit vermutlich im Mittelwürm abgelagert wurden (Becker-Haumann and Frechen 1997). Je nach topographischer Situation im Paläorelief kann ein blau-grauer Reduktionshorizont und eine „Humuszone“ folgen (Abb. 4, rechtes Profil). Im kontinuierlich für geochemische Analysen beprobten Profil D/E ist lediglich ein schmales, humoses Band vorzufinden (h in

Abb. 4, linkes Profil). Die nun folgende helle, gebleichte Lössschicht (g1 bis g3) ist erstmals karbonathaltig (bis ca. 6%), und hat mit Ausnahme des rezenten Oberbodens die höchsten Gehalte an organischem Kohlenstoff (bis 0.4%). Die Schichten f bis b sind hochwürmzeitliche Lössse (d.h. ca. 30 bis 20 ka) mit variablem Feinsandgehalt, Karbonatgehalten um ca. 6%, und organischem Kohlenstoff <0,1%. Teilweise sind die Schichten gebleicht und kryoturbar überprägt. Die rezenten Böden sind Löss-Parabraunerden, die allerdings oftmals durch menschliche Aktivität zu Pararendzinen mit Ap-Horizonten degradiert sind.

In den letzten Jahren wurden diverse Versuche

unternommen, die eiszeitlichen Umweltbedingungen in Bobingen genauer zu untersuchen (Gregor 2012). Wir werden uns bemühen, Kollegen für die Exkursion zu gewinnen, die ihre speziellen paläoökologischen Befunde zur Diskussion stellen (Pollen-, Mollusken-, Ostrakoden- und Makroreste-Analysen). Die vorläufigen Ergebnisse der Lipid-Biomarker-Analytik werden im Folgenden vorgestellt.

Lipid Biomarker in den Löss-Paläoböden von Bobingen

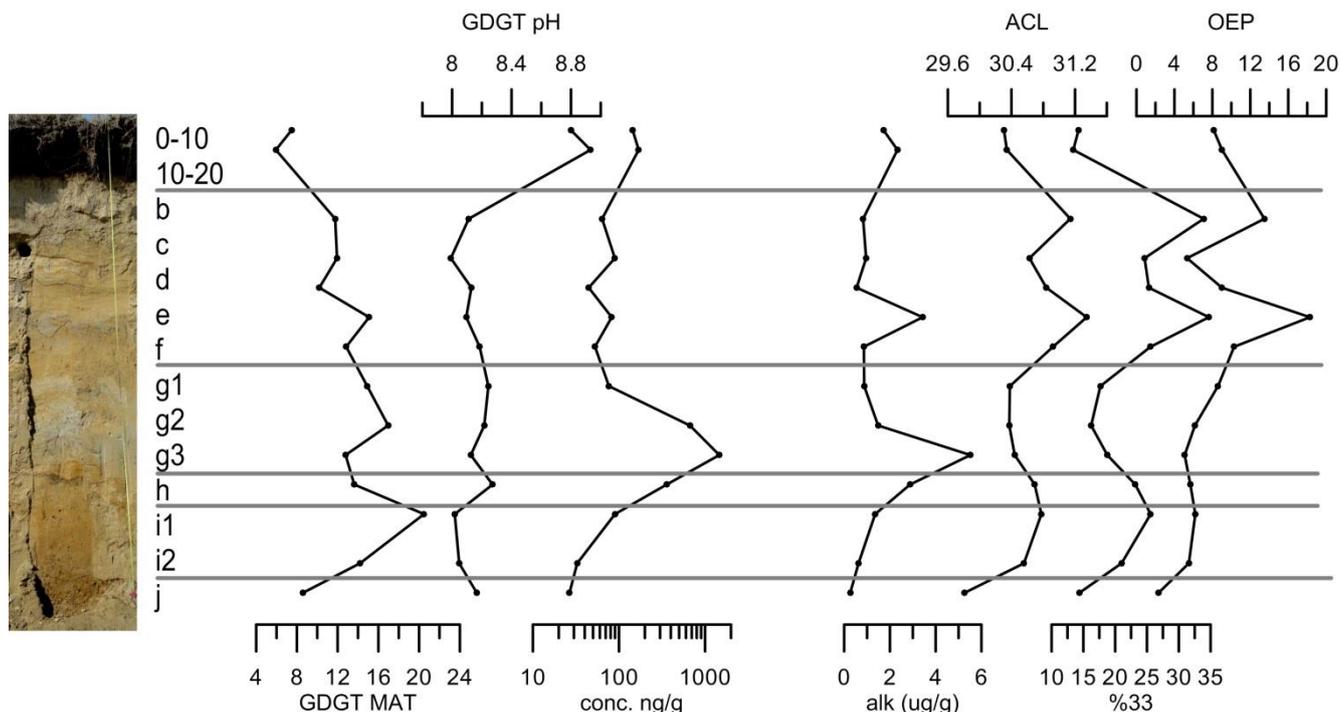


Abb. 5: Ergebnisse der GDGT- und Alkan-Analytik in den Löss-Paläoböden von Bobingen.

GDGTs (Glycerol Dialkyl Glycerol Tetraether) sind Membranbestandteile von Bodenbakterien. In Oberböden variiert die Molekülstruktur der GDGTs in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen, und zwar vor allem in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Temperatur (mean annual temperature, MAT) (Weijers et al. 2007). Mit Hilfe neuer chromatographischer Verfahren (HPLC-single ion monitoring) kann die Molekülstruktur der GDGTs analysiert werden, und über den sogenannten MBT (Methylation index of Branched Tetraethers) und CBT (Cyclization index of Branched Tetraethers) erhält man quantitative Proxies für die Umweltbedingungen. Im untersuchten Profil D/E sind die GDGT-Konzentrationen durchweg größer als 20 ng/g und sogar fast 1500 ng/g in der Schicht g1 („conc.“, siehe Abb. 5). Die

Lipide sind essentielle Bestandteile von Zellmembranen und Blattwachsen. Da sie in gewisser Masse herkunftsspezifisch sind und sich im Gegensatz zu pflanzlichen und tierischen Makroresten oder Pollen relativ gut in Sedimenten und Paläoböden erhalten, eignen sie sich z.T. als Biomarker (Eglinton and Eglinton 2008). Im Rahmen laufender Forschungsarbeiten wird versucht, u.a. in Bobingen einen Beitrag zur Umwelt- und Klimarekonstruktion mittels Biomarkern zu leisten.

oberste Probe hat eine „GDGT Temperatur“ von ca. 7,5°C. Dies ist vergleichbar zur gemessenen Jahresmitteltemperatur für Landsberg am Lech (7,6°C). Allerdings steigen die GDGT-Temperaturen in den Lössablagerungen entgegen aller Erwartungen massiv an. Auch die „GDGT pH“ Werte sind insbesondere in den zwei obersten Proben unrealistisch hoch. Die GDGTs sind offensichtlich zumindest nach dem heutigen Kenntnisstand nicht geeignet, quantitative Umweltbedingungen anhand von Sediment-Tiefenprofilen zu rekonstruieren (Zech et al. 2012). Im Moment werden Anstrengungen unternommen, regional angepasste Kalibrier-Datensätze für GDGT Proxies zu erarbeiten und die Chromatographie zu optimieren.

Langkettige n-Alkane sind Lipide, die als

schützende Wachsschicht auf Blättern gebildet werden. Kettenlängen von C_{31} und C_{33} werden vor allem von Gräsern gebildet, wohingegen (Laub-)Bäume und Sträucher vor allem C_{27} - und C_{29} -Ketten bilden. Die Alkankonzentrationen im Profil D/E variieren von 0,3 bis 5,5 $\mu\text{g/g}$ („alk“, Abb. 5) und erlauben die Bestimmung verschiedener Alkanproxies in allen untersuchten Schichten. Die mittlere Kettenlänge (Average Chain Length, ACL) ist mit Ausnahme des Horizontes j durchweg größer 30, so dass während der Sedimentation des Lösses durchgehend von einem bedeutenden Eintrag von Grasalkanen ausgegangen werden kann. Besonders hoch sind die Grasanteile in den Schichten b bis f, und h, i1 und i2, so dass zum Zeitpunkt der Bildung dieser Horizonte (vermutlich hochwürm-, bzw. mittelwürmzeitlich) eine reduzierte (Laub-)Baumvegetation angenommen werden kann. Dies spiegelt sich auch darin wieder, dass die C_{33} -Alkane mehr als 20% der Summe von C_{27} , C_{29} , C_{31} und C_{33} ausmachen. Vorsicht ist allerdings v.a. bei der Interpretation der Alkandaten in der unteren Profilhälfte geboten, da das Verhältnis der ungeraden zu den geraden Alkanen (Odd over Even Predominance, OEP) relativ niedrig ist, und daher der Einfluss der Degradation auf die Alkanindizes möglicherweise nicht vernachlässigt werden darf.

Langkettige Fettsäuren sind ebenfalls Blattwachse. Wie die Fettsäuremuster hinsichtlich der Vegetation interpretiert werden können, ist Gegenstand laufender Forschungsarbeiten, und soll auf der Exkursion zur Diskussion gestellt werden. Es sei aber zumindest hier erwähnt, dass sehr hohe Konzentrationen (ca. 14 $\mu\text{g/g}$) an langkettigen Fettsäuren in den Schichten g2 und g3 zu finden sind, und dass der Erhaltungszustand unterhalb von g1 sprunghaft und deutlich abnimmt. Welche unterschiedlichen Mechanismen für die langfristige Stabilisierung von Alkanen bzw. Fettsäuren verantwortlich sind, bleibt zu klären.

Die komponenten-spezifische Wasserstoff-Isotopie der Blattwachse zeigt ebenfalls ein interessantes Muster, das den weiteren Forschungsbedarf illustriert (Abb. 6). Die Alkane in den hochwürmzeitlichen Schichten b bis f sind

im Vergleich zum rezenten Boden isotopisch schwerer, obwohl das Niederschlagswasser im Glazial isotopisch relativ leicht gewesen sein dürfte. Dies könnte mit verstärkter Evapotranspiration und Anreicherung des Blattwassers im Hochglazial erklärt werden. Die Alkane in den Schichten g1 bis g3 sind dann wieder isotopisch leichter, wohingegen die Fettsäuren in den Proben g2 und g3 die höchsten δD Werte aufweisen. Da auch die Fettsäurekonzentrationen in diesen zwei Proben außergewöhnlich hoch sind, lässt sich spekulieren, ob die langkettigen Fettsäuren in diesem Fall möglicherweise nicht nur Blattwachse sind, sondern auch andere Quellen haben, etwa Algen oder Bakterien.

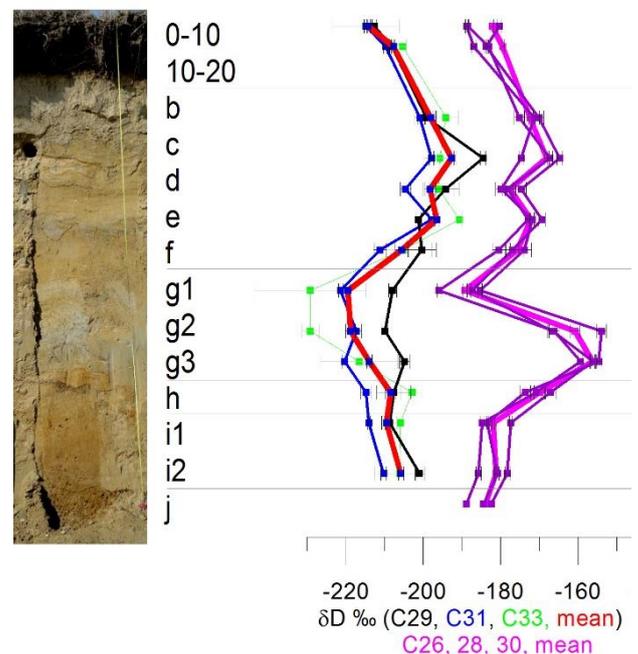


Abb. 6: Ergebnisse der komponenten-spezifischen Isotopenanalytik in den Löss-Paläoböden von Bobingen. Links die δD -Tiefenfunktionen der Alkane, rechts die δD -Tiefenfunktionen der Fettsäuren.

Abschliessend sei in Aussicht gestellt, dass bis zur Exkursion komponenten-spezifische ^{14}C Messungen vorliegen sollten. Mit Hilfe eines „preparativen Gas Chromatographen“ können genügend spezifische Alkane und Fettsäuren gesammelt werden (10 bis 50 μg), um ^{14}C Alter für bestimmte Kettenlängen zu messen (Häggi et al. 2014).

Dieser Beitrag veranschaulicht, dass dank einer Reihe von technischen Entwicklungen, neue innovative Analytik in der Quartär-

forschung angewandt werden kann, um (i) numerische Alter für quartäre Sedimente zu erhalten (^{10}Be und komponenten-spezifisch ^{14}C), und (ii) in der Zukunft möglicherweise quantitative Aussagen über die vergangenen Umweltbedingungen treffen zu können (GDGTs, Blattwaxse und komponenten-spezifisch δD).

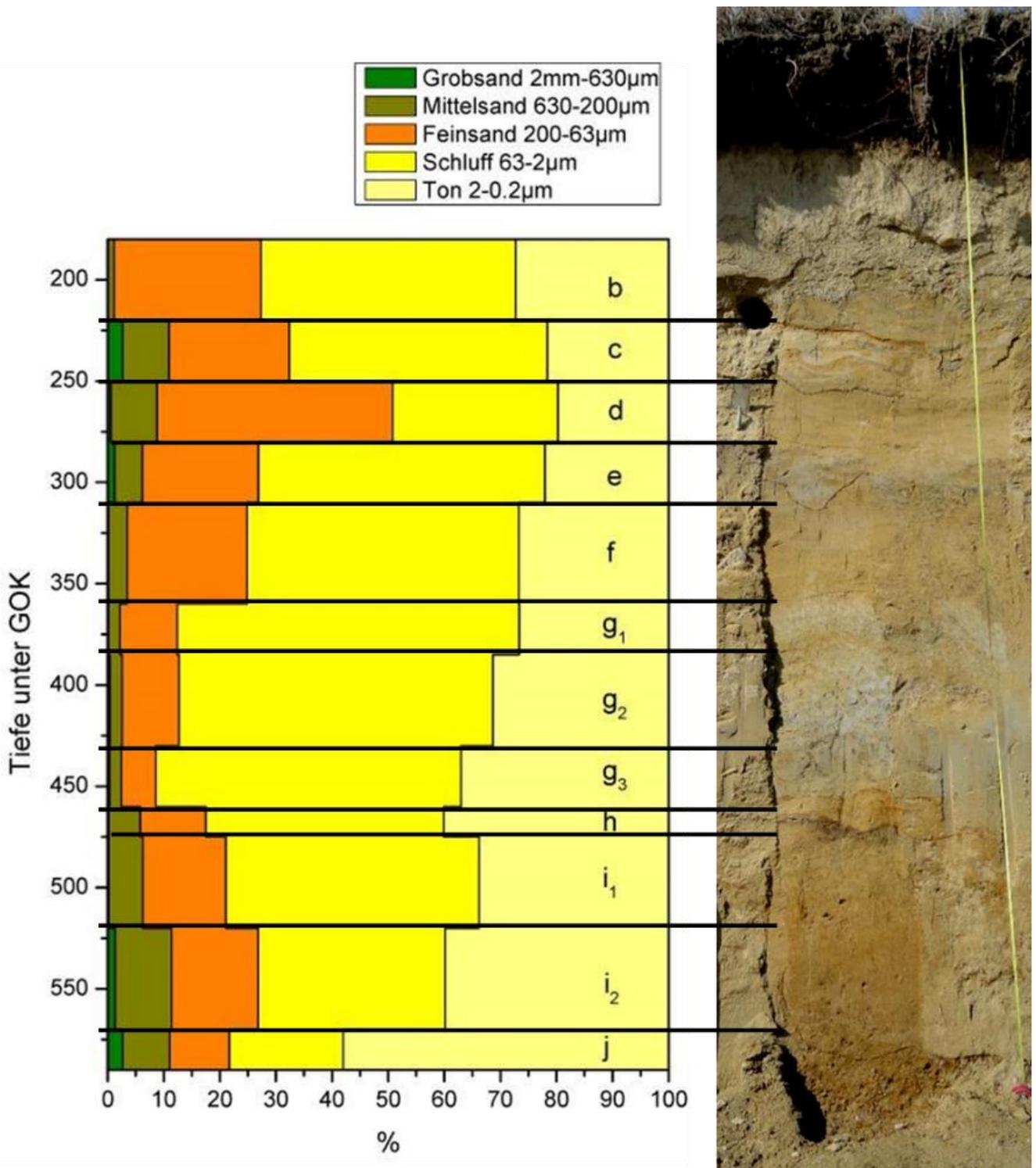
Danksagung

Wir danken Hans-Joachim Gregor für die logistische Unterstützung bei der Probennahme, und Ansgar Kahmen für die Hilfe mit den komponenten-spezifischen Isotopenmessungen am Institut für Agrarwissenschaften, ETH Zürich.

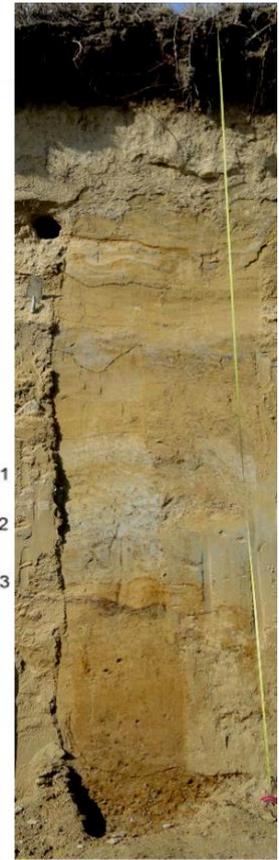
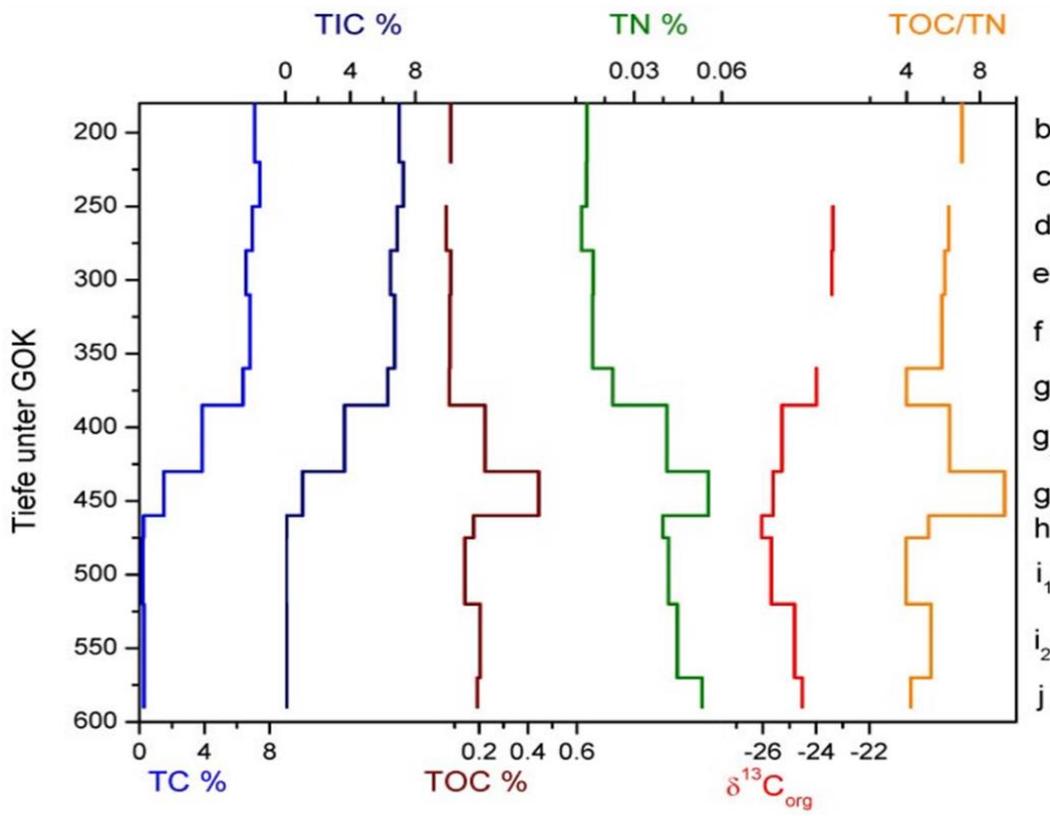
Literatur

- Aktas, A. and M. Frechen (1991). Mittel- bis Jungpleistozäne Sedimente der Hochterrasse in der nördlichen Iller-Lech-Platte. *Geol. Inst. Univ. Köln, Sonderveröff.* 82: 19-41.
- Becker-Haumann, R. and M. Frechen (1997). Vergleichende Lumineszenz-Datierungen mit IRSL und TL am Deckschichtenprofil Bobingen/Lechtal. *Z. geo. Wiss.* 25(5/6): 617-633.
- Bibus, E. (1995). Äolische Deckschichten, Paläoböden und Mindestalter der Terrassen in der Iller-Lech-Platte. *Geologica Bavarica* 99: 135-161.
- Bitterli, T., H. Jordi, et al. (2011). Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000. Blatt 1108: Murgenthal. Swisstopo, CH-3084 Wabern.
- Brändli, C. (2014). Dating glacial deposits of the Aare- and Valais- glacier around Bern using cosmogenic ^{10}Be . Master thesis, ETH Zurich.
- Doppler, G., E. Kroemer, et al. (2011). Quaternary Stratigraphy of Southern Bavaria. *Eiszeitalter und Gegenwart - Quaternary Science Journal* 60: 329–365.
- Dunai, T. (2010). *Cosmogenic nuclides: principles, concepts and applications in the Earth surface sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Eglinton, T. I. and G. Eglinton (2008). Molecular proxies for paleoclimatology. *Earth and Planetary Science Letters* 275: 1-16.
- Gibbard, P. L., M. J. Head, et al. (2010). Formal ratification of the Quaternary System/Period and the Pleistocene Series/Epoch with a base at 2.58 Ma. *Journal of Quaternary Science* 25: 96-102.
- Gregor, H.-J. (2012). Die Eiszeit in Bobingen. *Documenta naturae* 191: 43-44.
- Häggi, C., R. Zech, et al. (2014). On the stratigraphic integrity of leaf-wax biomarkers in loess paleosols. *Biogeosciences* 11: 2455–2463.
- Hidy, A. J., J. C. Gosse, et al. (2010). A geologically constrained Monte Carlo approach to modeling exposure ages from profiles of cosmogenic nuclides: An example from Lees Ferry, Arizona. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11: Q0AA10, doi:10.1029/2010GC003084.
- Huybers, P. (2007). Glacial variability over the last two million years: an extended depth-derived age model, continuous obliquity pacing, and the Pleistocene progression. *Quaternary Science Reviews* 26: 37-55.
- Ivy-Ochs, S., J. Schäfer, et al. (2004). Timing of deglaciation on the northern Alpine foreland (Switzerland). *Eclogae Geol. Helv.* 97: 47-55.
- Jouzel, J., V. Masson-Delmotte, et al. (2007). Orbital and Millennial Antarctic Climate Variability over the Past 800,000 Years. *Science* 317: 793-796.
- Lisiecki, L. E. and M. E. Raymo (2005). A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography* 20: PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- Milankovic, M. (1941). Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. *Königlich Serbische Akademie*: 1-633.
- Penck, A. and E. Brückner (1909-11). *Die Alpen im Eiszeitalter*. Taunitz, Leipzig.
- Reuther, A. (2007). Surface exposure dating of glacial deposits from the last glacial cycle: evidence from the Eastern Alps, the Bavarian Forest, the Southern Carpathians and the Altai Mountains, Borntraeger.
- Schaefer, I. (1957). Erläuterungen zur Geologischen Karte von Augsburg und Umgebung 1:50 000.- Bayer. Geol. Landesamt, München. 1-92.
- Schreiber, U. and D. Müller (1991). Mittel- und Jungpleistozäne Ablagerungen zwischen Landsberg und Augsburg (Lech). *Geol. Inst. Univ. Köln, Sonderveröff.* 82: 265-282.
- Susan Ivy-Ochs, H. K., Anne Reuther, Frank Preusser, Klaus Heine, Max Maisch, Peter W. Kubik, Christian Schlüchter, (2008). Chronology of the last glacial cycle in the European Alps. *Journal of Quaternary Science* 23: 559-573.
- Theuerkauf, M. (2011). Sedimentologische Untersuchungen an einem Quartärprofil bei Bobingen, Bayern. Bachelor-Thesis., Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 56 pp.
- Weijers, J. W. H., S. Schouten, et al. (2007). Environmental controls on bacterial tetraether membrane lipid distribution in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71: 703–713.
- Wüthrich, L. (2013). Dating glacial deposits in the western Swiss lowlands using cosmogenic ^{10}Be . Master thesis, ETH Zurich.
- Zech, R. (2012). A permafrost glacial hypothesis – Permafrost carbon might help explaining the Pleistocene ice ages. *Eiszeitalter & Gegenwart - Quaternary Science Journal* 61: 84-92.
- Zech, R., L. Gao, et al. (2012). Branched glycerol dialkyl glycerol tetraethers in Pleistocene loess-paleosol sequences: Three case studies. *Organic Geochemistry* 53: 38-44.

Anhang 1: Korngrössendaten für das Profil D/E in Bobingen (Theuerkauf, 2011)



Anhang 2: Geochemische Basisdaten für das Profil D/E in Bobingen (aus Theuerkauf, 2011)



C-03: Genese, Eigenschaften und ökologische Bedeutung von Unterwasserböden – die Moosach in der Münchner Schotterebene

Karl Auerswald¹, Jürgen Geist²

¹ Lehrstuhl für Grünlandlehre, TU München, Alte Akademie 12, 85350 Freising

² Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, TU München, Mühlenweg 22, 85350 Freising



Fahrtroute „Unterwasserböden der Moosach“

Einleitung

Fließgewässerböden – häufig fälschlich als Sediment bezeichnet – werden bodenkundlich kaum bearbeitet, obwohl sie trotz ihres flächenmäßig unbedeutenden Anteils im Naturhaushalt eine außerordentlich wichtige Rolle spielen. Sie regeln zum einen den Wasserhaushalt einer Landschaft, da die gesamte Entwässerung einer Landschaft mit Ausnahme des Direktabflusses (Oberflächenabfluss + oberflächennaher Zwischenabfluss) durch dieses schmale Band erfolgt, während sich bei Hochwasser die Fließrichtung umkehrt. Dadurch bildet der Grundwasserraum einen wesentlichen Puffer, der das Hochwasser abmildert – sofern die Unterwasserböden funktionsfähig sind. Der Porenraum der Fließgewässerböden, das Interstitial, stellt gleich-

zeitig einen wichtigen Lebensraum für viele Arten dar, die dieses Habitat dauerhaft (z.B. viele Invertebraten) oder zeitweise (z.B. Eientwicklung von kieslaichenden Fischen) nutzen. Die funktionellen Eigenschaften des Interstitials sind darüber hinaus auch für die Biozönose des Freiwassers als Nahrungs- und Rekrutierungsreservoir bedeutend. Der Verlust von Funktionen der Unterwasserböden hätte daher vermutlich weitaus größere Bedeutung für den Naturhaushalt als der jeder anderen Gruppe von Böden. Sowohl die biotischen wie die abiotischen Funktionen von Fließgewässerböden hängen wesentlich von ihrer Durchströmung und dem Austausch mit dem Wasser der freien Welle ab. Vielfältige Eingriffe und Veränderungen in Fließgewässern (z. B. Aufstau) und ihrem Einzugsgebiet (z. B. Erosion und damit verbundener Feinsedimenteintrag) führen zu einer verminderten Wasserleitfähigkeit und damit zu einer eingeschränkten Durchströmung des Interstitials, während gleichzeitig andere Stressoren (z.B. durch Einträge von Stoffen oder Abwärme) zugenommen haben.

Das Exkursionsobjekt, die Moosach, ist ein stark anthropogen überprägtes Gewässer mit unterschiedlich gestalteten Nebenarmen, an der sich die Vielfalt der Unterwasserböden, ihre Funktionen und Gefährdungen auf engem Raum demonstrieren lässt.

Geologisch-topographische Situation der Moosach

Die Moosach, ein etwa 34 km langer Nebenfluss der Isar, zieht sich durch glaziale Schotter, Auenlehme und vor allem durch die (inzwischen stark degradierten) Niedermoore

am Nordrand der Münchner Schotterebene (Abb. 1). Sie entsprang früher nahe des Stadtteils Moosach im Münchner Norden. Der Name setzt sich aus den beiden bayerischen Ausdrücken für Niedermoor (= Moos) und Bach (= Ache) zusammen. Bereits seit dem Mittelalter wurde die Moosach an vielen Stellen umgeleitet, begradigt, gestaut und geteilt (Pulg et al. 2013). Durch den Bau des Schleißheimer- und des Würmkanals im 17. Jahrhundert speist die ursprüngliche Quelle das Münchner Kanalsystem (Pulg et al. 2013). Dadurch schnitt der Kanalbau die Moosach aber von ihren ursprünglichen Quellen ab. Zwei Entwässerungsgräben nahe der Ortschaft Inhausermoos werden daher heute als Ursprung der Moosach betrachtet. Aufgrund umfassender Ausbaumaßnahmen Anfang des 20. Jahrhunderts fließt sie heute gänzlich in einem künstlichen Bett (Kohler et al. 1971).

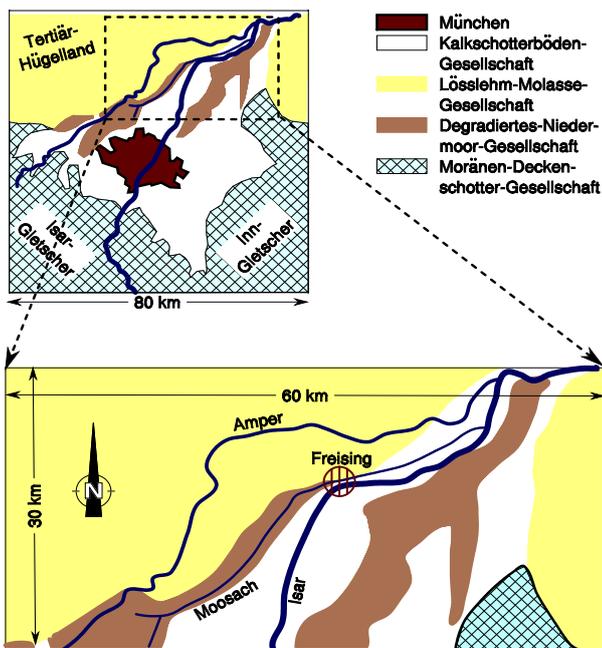


Abb. 1: Lage des Moosach-Hauptarms innerhalb der Münchner Schotterebene, die vom Tertiärhügelland im Norden und dem Moränen-Deckenschotter-Komplex im Süden begrenzt wird.

Material der Bodenbildung

Die mittlere Sohlneigung beträgt nur 1,3 ‰, in Staubereichen, die etwa ein Drittel der Gesamtlänge einnehmen, sogar nur 0,1 ‰ (Pulg 2009). Lockeren Kies findet man nur bei über 1,5 ‰ Gefälle, während verfestigter Kies bei Gefälle um 1 ‰ dominiert und unter 0,5 ‰

Feinsedimente <2 mm vorherrschen. Die Feinsedimente nehmen etwa 50% der Fläche des Flusslaufs ein, die verfestigten Kiese etwa 35% und die unverfestigten Kiese 15%. Alle drei Substrate kommen in allen Flussabschnitten vor, wobei die unverfestigten Kiese im Oberlauf dominieren, die Feinsedimente im Mittellauf und die verfestigten Kiese im Unterlauf.

Tab. 1: Hydrologische Eigenschaften der Moosach (HND 2013, NID 2013, Pulg 2009)

Eigenschaft	Einheit	
Topographisches Einzugsgebiet ¹⁾	175	km ²
Hydrologisches Einzugsgebiet ²⁾	351	km ²
Gewässerlänge ³⁾	34,2	km
Mittlerer Niedrigwasserabfluss MNQ	1,94	m ³ /s
Mittlerer Hochwasserabfluss MHQ	5,68	m ³ /s
Mittlerer Abfluss MQ	2,64	m ³ /s
Mittlerer Abfluss	476	L/m ³ /a
Sohlneigung	1,3	‰
Minimale Monatstemperatur	5,8	°C
Mitteltemperatur	10,3	°C
Maximale Monatstemperatur	14,5	°C

- 1) aus HND (2013); 185 km² laut www.wwa-m.bayern.de/fluesse_seen/gewaesserportraits/moosach
- 2) berechnet aus der Bodenwasserbilanz
- 3) www.wwa-m.bayern.de/fluesse_seen/gewaesserportraits/moosach

Da auch das gesamte Einzugsgebiet praktisch eben ist (Münchner Schotterebene), erhält die Moosach fast ihren gesamten Zustrom aus dem Grundwasser dieser Schotterebene. Dadurch ist sie ein sommerkühles Gewässer mit geringen Schwankungen sowohl in der Monatsmitteltemperatur wie auch im Abfluss (vgl. MNQ und MHQ in Tab. 1). Den Untergrund des Gewässerbetts bilden überwiegend die groben, pleistozänen Kalkkiese der Münchner Schotterebene. Da das Grundwasser lange Zeit in diesen Kiesen fließt (Kalkgehalt der unverwitterten Isarschotter: 50% - 60%), ist seine Hydrogencarbonat-Konzentration hoch. Besonders durch die Erwärmung in den Sommermonaten sinkt die CO₂-Löslichkeit und entsprechend die Hydrogencarbonat-Konzentration nach dem Übertritt des Wassers in die Moosach. Dies führt zur Ausfällung von Calcit, der das dominierende Substrat der Fließ-

gewässerböden bildet (Abb. 2a). Ein Teil der Carbonate stammt vermutlich auch aus dem Abrieb der carbonatischen Schotter der Münchner Schotterebene (z.B. aus dem Auelehm der Isar), da röntgenographische Analysen einen z.T. nicht unerheblichen Anteil von Dolomit zeigen (Abb. 1b). Allerdings liegt auch der Dolomit-Sättigungsindex deutlich über 1 (im Mittel 1,5 bei $n = 22$) und es finden sich auch in eindeutig biogenen Carbonaten (Onkoide) der Moosach deutliche Mg-Konzentrationen (Peršoh 1998). Durch die Niedermoore entlang des Flusslaufs, aber auch durch die flussinterne Biomasseproduktion, ist auch der Gehalt an organischer Substanz hoch (im Mittel 18%, was einer Volumenkonzentration in der Festmasse von über 30% entspricht). Silikate, die aus Straßenabläufen oder gelegentlichen bis zur Moosach reichenden Überflutungen aus dem nördlich anschließenden Tertiärhügelland stammen, machen im Mittel nur 34% des Feinsediments aus.

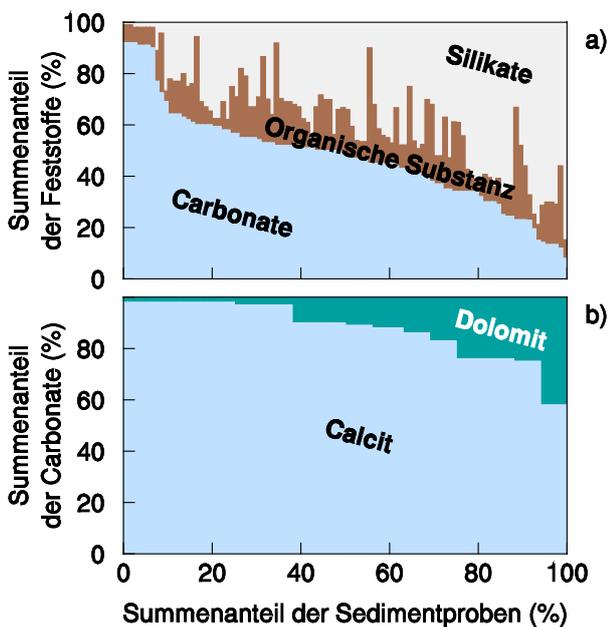


Abb. 2: Hauptkomponenten der Feinsedimente der Moosach

- a) Carbonate, Silikate und organische Substanz im Gesamtboden ($n = 88$)
- b) Dolomit und Calcit in den Carbonaten ($n = 16$)

Die Feinsedimente bilden mächtige (meist 40 bis 80 cm) Auflagen, die in strömungsberuhigten Bereichen den gesamten Untergrund aus pleistozänen Kiesen gleichmäßig bedecken

(Abb. 3). Die Feinsedimenttiefe nimmt mit zunehmendem Carbonatanteil des Sediments zu (Tiefe [cm] = $1,9 + 0,7$ Carbonatanteil [%], $r^2 = 0,560$, $p < 0,05$; r^2 steigt bei Verwendung der Carbonatmenge statt des Carbonatanteils sogar auf 0,898, ist dann aber statistisch nicht mehr beurteilbar, da die Tiefe für die Berechnung der Menge benötigt wird und daher sowohl in die Abhängige wie in die Unabhängige eingeht). Dies deutet darauf hin, dass die Feinsedimenttiefe dort besonders groß wird, wo die Bedingungen für eine Carbonatfällung günstig sind.

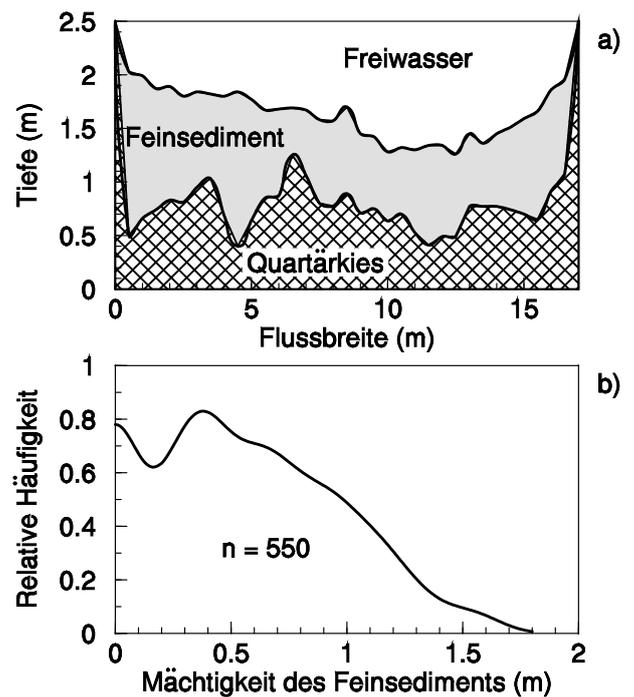


Abb. 3 a: Typisches Quertranssekt (600 m NE der Pullinger Brücke; 2012)

3 b: Häufigkeitsverteilung der Mächtigkeit der Feinsedimentablagerungen im Mittellauf (Sondierungen 1988, 2012 und 2013 gepoolt; aus Stein, unveröffentlicht, und Quinones et al., unveröffentlicht)

In den Feinsedimenten überwiegt der Schluff (ca. 60%) bei einem erheblichen Anteil an Ton (ca. 25%) (Abb. 4). Über 90% des Sediments sind kleiner als 1 mm (28 analysierte Böden). Bereits bei einem Anteil der Fraktion < 1 mm von mehr als 25% ist der Austausch zwischen Interstitialwasser und Freiwasser stark behindert (Geist und Auerwald 2007). Daher dürften auch der Austritt von Grundwasser und damit die Ausfällung von Carbonaten zunehmend gehemmt werden. Dennoch werden im

Mittel netto 5 mm/a abgelagert (Beobachtungszeitraum 1997 bis 2012), die etwa alle 20 Jahre ausgebaggert werden. In den 1970-er Jahren, als der Phosphateintrag und daher die Biomasseproduktion noch wesentlich höher waren, musste das Feinsediment alle fünf Jahre geräumt werden (Baumann 1977).

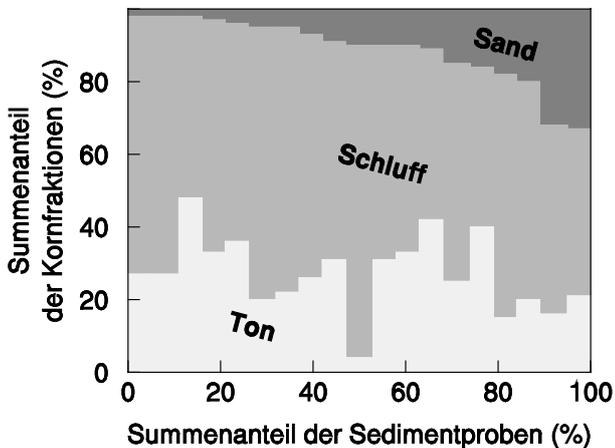


Abb. 4: Textur der Feinsedimente (Oberstadler 1988)

Der Trockenmasseanteil der Feinsedimente der Moosach beträgt im Mittel 25% und die Trockenrohichte der Feststoffe 2,2 kg/L (Fischer 1981). Daher werden bei einer mittleren Zunahme der Sedimenttiefe von 5 mm/a durchschnittlich nur ca. 1,4 kg/m²/a Feststoffe pro Jahr abgelagert, wenn 50% der Moosach mit Feinsediment bedeckt sind (mittlere Moosach-Breite 8 m, Länge 34 km). Auf's Jahr und die feinsedimentbedeckte Gewässerfläche hochgerechnet ergibt dies eine Summe von 230 t/a, während Pulg (2009) eine transportierte (Suspensions-)Fracht im Mittel dreier Jahre von 830 t/a aus Trübungsmessungen ermittelt hat (mittlere Schwebstoffkonzentration: 10 mg/L). Demnach wird etwa ein Fünftel der Feststoffe abgelagert und vier Fünftel ausge-tragen (ohne Rollfracht, zu der es keine Messungen gibt). Auf neu angelegten Kiesbänken wurden dagegen im Mittel dreier Jahre Ablagerungsraten von 50,3 kg/m²/a gemessen, wobei die Raten um den Februar etwas überdurchschnittlich und um den Oktober etwas unterdurchschnittlich waren (Pulg 2009). Dies deutet auf starke Umverlagerungen innerhalb der Moosach hin und zeigt, dass lokale Substrat-Restaurierungsmaßnahmen wenig Er-

folg versprechen, besonders wenn die Bedingungen, die zur Sedimentablagerung geführt haben (Strömungsverhältnisse, Fällungsbedingungen) dadurch nicht verändert werden.

Bei einem Silikatanteil von 20% im abgelagerten Sediment und einer topographischen Einzugsgebietsfläche von 175 km² entspricht die abgelagerte Menge einer Silikat-Menge von 4 kg/ha/a, die aus dem Einzugsgebiet kommt. Selbst wenn man annimmt, dass die Silikate ausschließlich aus dem ca. 70 km² großen Anteil des Tertiärhügellandes am topographischen Einzugsgebiet stammen, entspricht die abgelagerte Menge nur einem Verlust von 11 kg/ha/a. Dieser sehr geringe Wert ergibt sich allein aus der Tatsache, dass die Fließgewässerfläche gegenüber der Einzugsgebietsfläche immer verschwindend gering ist (im Fall der Moosach 0,16%). Die Ablagerung könnte daher höchstens durch drastische Erosionsschutzmaßnahmen in der Fläche (vollständige Bewaldung des Einzugsgebietes ohne Nutzung) verhindert werden. Wesentlich einfacher wäre, den Kurzschluss zwischen Fläche und Gewässer (sog. Bahnungen wie Gräben, Verrohrung) aufzuheben und den sedimentationsfördernden Aufstau der Gewässer zurückzubauen.

Eine entsprechende Rechnung für den Carbonat-Anteil (unter der Annahme, dass die Fällung die einzige Carbonat-Quelle darstellt) vermindert die mittlere Ca-Konzentration (110 mg/L, Stein 1987) im Abfluss (MQ 2,64 m³/s) um unerhebliche 1 mg/L. Daher liegen sowohl die Silikat-Ablagerungen wie die Carbonat-Ablagerungen auf einem niedrigen Niveau. Die Feinsedimentablagerungen müssen daher als unvermeidlich und typisch angesehen werden.

Die analog berechnete Sedimentation von organischer Substanz liefert für die Gewässerfläche einen Wert von 3 t/ha/a. Dieser Wert dürfte die gewässerinterne Produktion abzüglich des Abbaus deutlich überschreiten. Daher kann auf einen nicht unerheblichen Eintrag von organischer Substanz aus den umliegenden Niedermooren geschlossen werden.

Das logarithmierte Verhältnis zwischen dem Löslichkeitsprodukt des Calcits L_{Ca} ($10^{-8,480}$ in

reinem Wasser bei 298,15 K) und dem Produkt der errechneten Aktivitäten von Ca^{2+} und CO_3^{2-} ($[\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}]$) ergibt den Sättigungsindex für Calcit (SI_{Cal}). Positive Werte von SI_{Cal} zeigen Über-, negative Untersättigung für Calcit an. Die Moosach ist deutlich Calcit-übersättigt, wobei die Übersättigung in Fließrichtung stark zunimmt (Abb. 5). Dies ist im Wesentlichen auf die Verminderung des CO_2 -Partialdrucks zurückzuführen. Dabei dürfte die Ausgasung gegenüber der biologischen Fixierung deutlich dominieren, da ein Jahres- und Tagesgang im CO_2 -Partialdruck wie im Sättigungsindex nur im Oberlauf beobachtet werden kann und relativ gering ausgeprägt ist. Für eine Calcit-Ausfällung ist das regelmäßige Überschreiten eines SI_{Cal} von 0,8 nötig, da darunter im Wasser gelöste organische Substanzen eine Kalkfällung verhindern (Kempe und Kazmierczak 1990). Ab dem Mittellauf wird dieser Wert häufig überschritten.

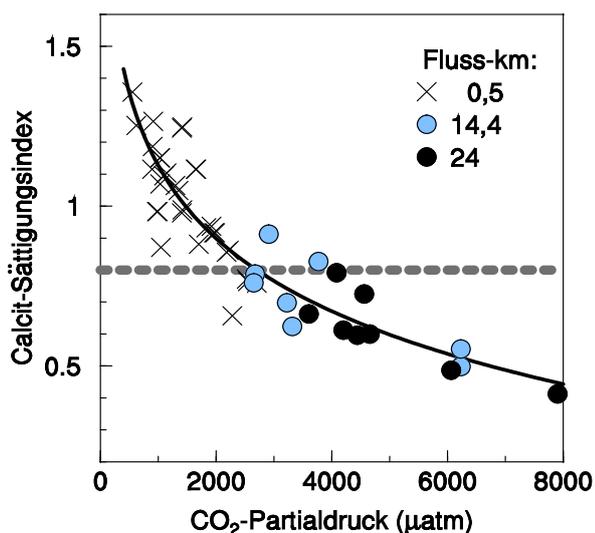


Abb. 5: Calcit-Sättigungsindex und CO_2 -Partialdruck im Unterlauf (Fluss-km 0,5), Mittellauf (Fluss-km 14,4 = Exkursionsgebiet) und Oberlauf (Fluss-km 24); Daten aus Peršoh (1998). Die gestrichelte Linie gibt einen Sättigungsindex von 0,8 an, bei dem mit einer Kalkausfällung auch in Wasser zu rechnen ist, das gelöste organische Substanz enthält. Der Sättigungsindex und der CO_2 -Partialdruck wurden mit dem Programm PHREEQE (Parkhurst et al. 1990) berechnet. Verwendet wurden die Konzentrationen der Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , der Anionen Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , F^- , PO_4^{3-} , Br^- , sowie Gesamtalkalinität, pH und Temperatur.

Besonders in den tieferen Bereichen der Unterwasserböden lösen sich die Carbonate bei eingeschränktem Austausch des Interstitialwassers mit dem Freiwasser durch den Anstieg des CO_2 -Partialdrucks in Folge der mikrobiellen Aktivität auch wieder auf. Daher nimmt der Carbonatgehalt im Mittel innerhalb der Unterwasserböden nach unten ab (5% Unterschied zwischen 0-2 cm und 8-15 cm Tiefe bei Baumann 1977). Die Rücklösung von Calcit ist dort besonders ausgeprägt, wo viel leicht abbaubare organische Substanz vorhanden ist. Der Carbonat-Gehalt sinkt daher mit zunehmenden Gesamt-P-Gehalt ($r^2 = 0,28^{**}$, $n = 25$; allerdings sinkt auch der Gesamt-P-Gehalt durch Carbonat-Ausfällung, so dass beide Parameter sich wohl gegenseitig beeinflussen) und gleichzeitig steigt dadurch der Dolomitgehalt an eutrophen Standorten mit abnehmendem Carbonat-Gehalt ($r = -0,58$; $n = 16$; Baumann 1977). Durch Exfiltration von Grundwasser kann dieses hoch mit Ca^{2+} angereicherte Interstitialwasser an die Bodenoberfläche gelangen und dort wieder als Calcit ausfallen. Die Unterwasserböden der Moosach können daher als Calcit-Pumpe aufgefasst werden, die die Nährstoffe an der Bodenoberfläche verdünnt und gleichzeitig auch das Sediment vergrößert, weil die organische Substanz verdünnt wird (die Fraktion $<20 \mu\text{m}$ nimmt signifikant mit zunehmendem Carbonatgehalt ab; $r^2 = 0,28^*$, $n = 20$; Daten aus Baumann 1977).

Die Fließgeschwindigkeit ist wegen des geringen Wasserspiegelgefälles der Moosach zu gering, um die Feinsedimente als Rollfracht abzutransportieren. Ausleitungen und Aufstauungen (Fischzuchten, eine ehemalige Mühle, ein Kraftwerk) vermindern die Fließgeschwindigkeit weiter. Die Fließgeschwindigkeit beträgt bei Mittelwasser nur 0,2 m/s, nahe dem Gewässerboden noch weniger (Tab. 2), und steigt auch beim mittleren Hochwasser nicht über 0,35 m/s. Nach Kresser (1964) reicht selbst die Geschwindigkeit bei Hochwasser nur für den Transport von Feinschluff. Die Textur in der entlang des Gewässerbodens transportieren Rollfracht unterscheidet sich daher nicht von der der Böden (z.B.: mittlerer Tongehalt

25% bzw. 28%). Abflussspitzen, die zu einer intensiven Bodenumlagerung führen würden, kommen kaum vor. Abgelagerte und evtl. verfestigte (kolmatisierte) Sedimente werden daher nicht wieder aufgenommen.

Innerhalb der Tonfraktion dominiert Illit (Mittel 50%, Std.abw. 11%; n = 16), während Smectit nur 30% (Std.abw. 13%) beiträgt. In den Oberböden des Tertiärhügellandes ist dieses Verhältnis dagegen umgekehrt (45% Smectit und 37% Illit, Niederbudde und Vogl 1987). Diese Diskrepanz ist entweder darauf zurückzuführen, dass der aufweitende und damit in Wasser spezifisch leichtere Smectit bevorzugt ausgetragen wird oder dass die eingetragenen Silikate nicht aus der Erosion von Oberböden des Tertiärhügellandes, sondern zu einem erheblichen Teil aus Unterböden bzw. dem geologischen Untergrund stammen. Fischer und Auerswald (1988) zeigten eine hohe Bedeutung der Abschwemmung von Straßen und Bauplätzen. Zur zweiten Erklärung passt auch, dass Baumann (1977) sogar 70% Illit und nur 20% Smectit gefunden hatte. Zu dieser Zeit wurde in Massenhausen noch eine Kieswäscherei betrieben, die ihr Waschwasser in die Moosach leitete.

Tab. 2: Physiko-chemische Eigenschaften des Interstitialwassers in 5 cm Tiefe und des Freiwassers (Mittel aus 322 Messungen im Frühsommer und Herbst mit Standardabweichung; Braun et al. 2012)

Freiwassereigenschaften	
Tiefe (cm)	55 ± 16
Strömungsgeschwindigkeit (cm/s)	
5 cm über der Gewässersohle	12 ± 10
5 cm unter der Wasseroberfläche	20 ± 11
Interstitialwassereigenschaften	
pH	7,6 ± 0,2
elektr. Leitfähigkeit (mS/cm)	0,79 ± 0,06
gelöster Sauerstoff (mg/L)	5,2 ± 3,3

Eine Verminderung der Sedimentationsraten ist wegen der geringen absoluten Mengen und der unvermeidlichen CO₂-Ausgasung kaum zu erreichen. Am erfolgversprechendsten wäre wohl, eine Beschattung durch einen gewässerbegleitenden Baumbestand zu schaffen. Dies würde in dreifacher Weise die Feinsedimentablagerung verringern: (1) durch die geringere

Erwärmung bliebe die Carbonat-Löslichkeit hoch. (2) Durch die geringere gewässerinterne Produktivität würde der CO₂-Verbrauch vermindert. (3) Das geringere Makrophytenwachstum würde eine schnelle Fließgeschwindigkeit und damit einen höheren Feinsedimenttransport erlauben.

Die Wirkung eines gewässerbegleitenden Baumbestandes zeigt sich deutlich im Unterlauf, wo die Moosach durch den dichten Auwald von Isar und Amper fließt. Dort fehlen die Feinsedimente weitgehend, obwohl der Calcit-Sättigungsindex hier am höchsten ist (Abb. 5). Die Calcit-Feinsedimente sind im beschatteten Unterlauf durch Onkoide ersetzt.

Böden

In den Sedimenten der Moosach bildet sich eine Gytija, die einen oxidierten Horizont Fo (mittlerer rH 23) über einem reduzierten Horizont Fr (rH z.T. < 13) ausbildet. Der oxidierte Horizont besitzt meist eine hellere Färbung mit einer relativ scharfen Grenze zum dunkleren reduzierten Horizont. Diese Farb- und Grenzunterschiede deckt sich meist mit der Nachweisgrenze für Sulfid (HCl-Test). Der oxidierte Horizont ist im Allgemeinen etwa 5 cm mächtig. Wegen des relativ geringen Anteils an organischer Substanz im Sediment, wovon zumindest ein Teil aus den Niedermooren des Einzugsgebiets stammt und schwer abbaubar sein dürfte, ist trotz des eingeschränkten Austausch von Interstitial- und Freiwasser auch im Sommer noch Sauerstoff im extrahierten Interstitialwasser vorhanden (Tab. 2). Die Konzentrationen betragen ca. die Hälfte der Freiwasserkonzentrationen (9 – 13 mg/L; Peršoh 1998). Die gemessenen Redox-Potentiale liegen meist zwischen 200 und 400 mV, wobei die Redoxpotentiale in den reduzierten Horizonten etwa um 100 mV niedriger sind (Abb. 6). Die auf Grund gemessenen Redoxpotentiale nach Blume et al. (2002) zu erwartenden Redoxsysteme passen nur näherungsweise zu den chemischen Befunden. So sollte selbst im oxidierten Horizont eine Mn-Reduktion stattfinden, während man im oxidierten Horizont eine deutliche Mn-Anreicherung finden kann (Baumann 1977). Sauerstofffreie Bereiche sollten häufig sein, während im Interstitial-

wasser in den meisten Fällen noch Sauerstoff gemessen werden kann. Eine Sulfatreduktion sollte nicht vorkommen, während der HCl-Test im reduzierten Horizont häufig Sulfide anzeigt. Diese Diskrepanzen sind wohl auf messtechnische Probleme bei Unterwasserböden (z.B. Ansaugen von Freiwasser bei der Interstitialwasserbeprobung, Sauerstoffkontaminationen bei der Probenentnahme oder dem Einstechen von Elektroden) und kleinräumige Variabilität (z.B. durch Bioporen) zurückzuführen. Die Gradienten innerhalb der Böden dürften daher deutlich steiler sein, als die mittleren physiko-chemischen Parameter der beprobten Volumina nahelegen. Trotz dieser Unsicherheiten ist wohl die Nitratatmung wesentlich und überwiegt vermutlich gegenüber der Sauerstoffatmung. Durch den Verbrauch von Nitrat beim Übertritt vom Grundwasser in die Moosach sind die Nitratgehalte in der Moosach (um 30 mg/L) nur ca. halb so hoch wie die im anstehenden Quartärgrundwasser.

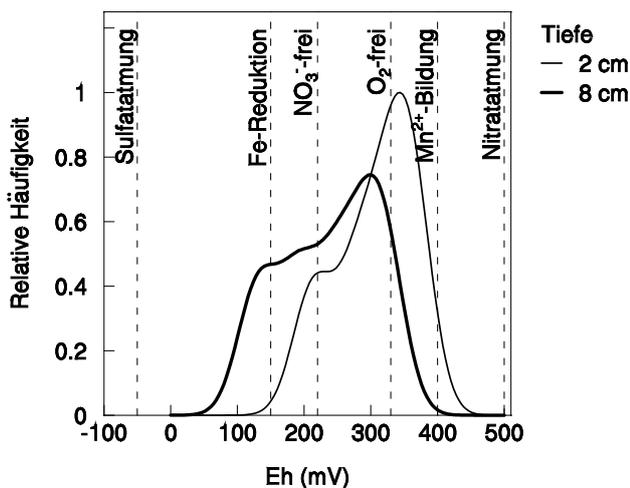


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Redox-Potentiale im wenige cm mächtigen, oxidierten Horizont (2 cm Tiefe) und im darunter liegenden reduzierten Horizont (Daten aus Scheibner 1988); die gestrichelten Linien markieren die nach links beginnenden Redox-Reaktionen (nach Blume et al. 2002).

Die räumlichen Muster in den physiko-chemischen Eigenschaften der Moosach-Böden folgen den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie auch bei anderen Fließgewässern dieser Größe. Die Ausprägung des Musters (Patch-Kontrast in Abb. 7 B; geostatistisch: Sill) bei gelöstem

Sauerstoff, pH und elektrischer Leitfähigkeit nimmt zu, je mehr Makrophyten in einem Flussabschnitt wachsen, während die Patch-Größe (Abb. 7 C; geostatistisch: Range) mit zunehmender Sinuosität des Flusslaufs kleiner wird. Da die Moosach durch die starken und wechselnden Eingriffe des Menschen sowohl gerade wie mäandrierende Flussabschnitte mit wechselndem Makrophytenbewuchs aufweist, deckt die Moosach ein großes Spektrum an Mustergrößen und Musterintensitäten ab.

Methoden zur Charakterisierung von Unterwasserböden

Die Habitatqualität von Unterwasserböden für Fließgewässerorganismen wird vor allem durch deren Stabilität und die Intensität des Austauschs mit dem Wasser der freien Welle bestimmt, der durch die Korngrößenverteilung (Siebung und Schlämmanalyse) und oberflächliche Substratverfestigung (Penetrationswiderstandsmessung) beeinflusst wird. Im Rahmen der Exkursion wird eine Auswahl wichtiger Methoden zur Charakterisierung von Unterwasserböden im Praxisversuch vorgestellt: Bei der „freeze-core“ Methode wird ein am unteren Ende spitz zulaufendes Kupferrohr in den Gewässerboden getrieben, mit flüssigem Stickstoff befüllt und so das umgebende Substrat eingefroren. Die damit entnommenen Probekerne erlauben Rückschlüsse auf die Schichtung und Kolmation des Gewässersubstrats sowie die in den verschiedenen Zonen lebenden Arten. Darüber hinaus werden die Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur physikochemischen Charakterisierung (Redox-Potenzial, Sauerstoff, Leitfähigkeit etc.) vorgestellt.

Neben der abiotischen Ansprache der Unterwasserböden kann deren Habitateignung mit Bioindikationsmethoden wie „egg sandwich“ (Pander et al. 2009) und SEFLOB (Pander und Geist, 2010) untersucht werden. Damit kann die Entwicklung von Eiern kieselalgenfressender Fische in unterschiedlichen Substrattiefen im Vergleich zum Freiwasser und in Zusammenhang mit abiotischen Variablen untersucht werden, um Laichplätze zu bewerten oder den Erfolg von Restaurierungsmaßnahmen bei Gewässerböden zu evaluieren.

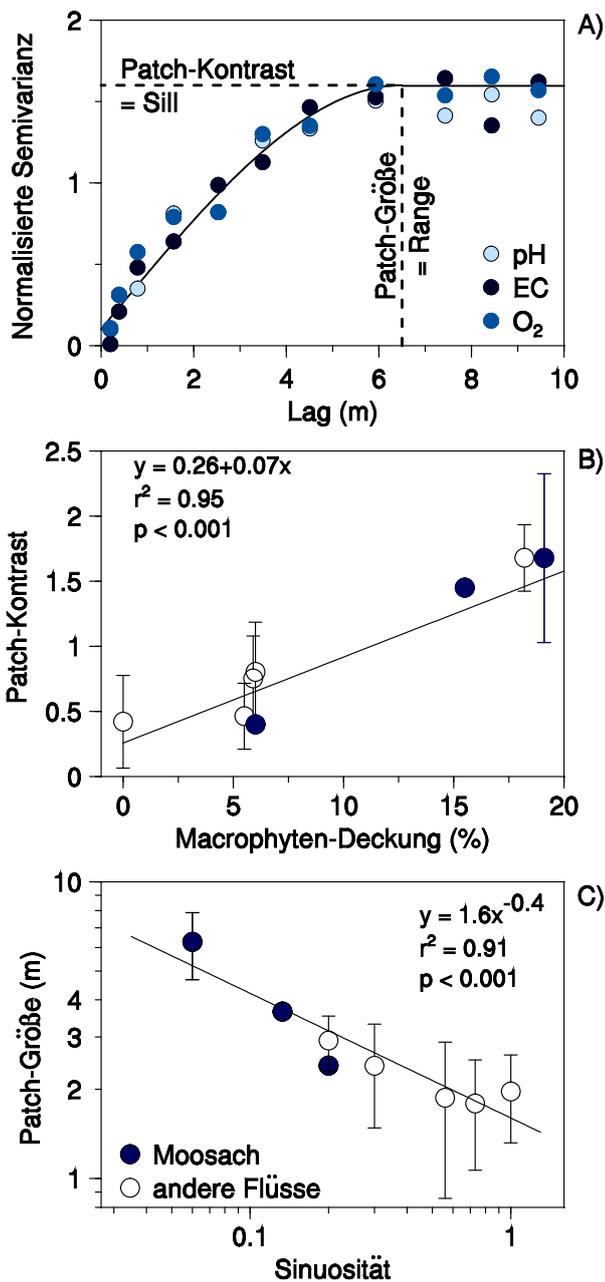


Abb. 7 A): Semivariogramme der von pH, elektrischer Leitfähigkeit (EC) und gelöster Sauerstoff in 5 cm Tiefe unter der Bodenoberfläche an einem 100-m-Abschnitt der Moosach

B) Patch-Kontrast der physiko-chemischen Eigenschaften der Böden der Moosach und anderer bayerischer Fließgewässer in Abhängigkeit vom Makrophytenbewuchs des Gewässerabschnitts

C) Patch-Größe der physiko-chemischen Eigenschaften der Böden der Moosach und anderer bayerischer Fließgewässer in Abhängigkeit von der oberstromigen Sinuosität des Flusslaufs (nach Braun et al. 2012; verändert)

Restaurierungsoptionen

Durch verbesserte Abwasserreinigung hat sich die Wasserqualität von Oberflächengewässern in Europa in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert, wodurch die durch Feinsedimente verursachten Probleme in Fließgewässern stärker sichtbar wurden und in den Fokus des Interesses bei Gewässerrestaurierungen gerückt sind (Palmer et al. 2005; Feld et al. 2011; Geist, 2011, 2014). Inzwischen sind die Zusammenhänge zwischen erhöhter Feinsedimentbelastung und der eingeschränkten Reproduktion bei Süßwassermuscheln (z.B. Geist & Auerswald 2007) und kieslaichenden Fischen wie der Bachforelle oder dem Huchen (z.B. Sternecker et al. 2013) gut dokumentiert. Selbst die mikrobielle Diversität wird stark durch die physikalischen Eigenschaften des Unterwasserbodens beeinflusst (Mueller et al. 2013). Erhöhte Wassertemperaturen durch Stauregulierung, Abwärmelastung und Klimawandel können die negativen Effekte von Feinsedimenten deutlich verstärken (Sternecker et al. 2014).

In der Praxis werden verschiedene Verfahren der Substratrestaurierung von Unterwasserböden eingesetzt, die in ihrer Wirkung noch wenig untersucht sind (Pander und Geist, 2013). Bei einem systematischen Vergleich in sechs verschiedenen Gewässern waren gängige Verfahren wie Kieseinbringung oder Substratlockerung nicht nachhaltig und hatten sogar teils ausgeprägte negative Wirkung auf die flussabwärts gelegenen Bereiche (Mueller et al. 2014; Pander et al. 2014). Im Rahmen der Exkursion werden die in einem Nebenarm der Moosach durchgeführten Substratrestaurierungsmaßnahmen (Kieseinbringung, Substratlockerung, Einbau von Sichelbuhnen) besichtigt.

Literatur

- Baumann G (1977): Die Rolle der Sedimente im Phosphathaushalt Ca-reicher Fließgewässer. Diss. TU München, Freising.
- Blume H-P et al. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 593 S.
- Braun A, Auerswald K, Geist J (2012): Drivers and spatio-temporal extent of hyporheic patch variation: implications for sampling. PLoS ONE 7: e42046. doi:10.1371/journal.pone.0042046

- Feld CK, Birk S, Bradley DC, Hering D, Kail J, Marzin A, Melcher A, Nemitz D, Pedersen ML, Pletterbauer F, Pont D, Verdenschot PFM, Friberg N (2011): From natural to degraded rivers and back again: a test of restoration ecology theory and practice. In: Woodward, G. (Ed.), *Advances in Ecological Research*. Elsevier, London, UK, pp. 119–209.
- Fischer WR (1981): *Limnische Unterwasserböden*. Habilitationsschrift, TU München, unveröffentlicht.
- Fischer WR, Auerswald K (1988): Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben 6190-961-63315: Ökologische Eigenschaften und Herkunft der Sedimente und Unterwasserböden der Moosach und ihrer wichtigsten Zuläufe. Bayerisches Staatministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. 23 S.
- Geist J (2011): Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecol. Indicators* 11: 1507–1516.
- Geist J (2014): Trends and directions in water quality and habitat management in the context of the European Water Framework Directive. *Fisheries* 39: 219–220.
- Geist J, Auerswald K (2007): Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biol.* 52: 2299–2316.
- HND (2013): Hochwassernachrichtendienst, Bayerisches Landesamt für Umwelt. <http://www.hnd.bayern.de/>
- Kempe S, Kazmierczak J (1990): Calcium carbonate supersaturation and the formation of in situ calcified stromatolites. - In: Ittekkot VA, Kempe S, Michaelis W, Spitz A (Hrsg.): *Facets of modern biochemistry*. 255–278, Springer, Berlin.
- Kohler A, Vollrath H, Beisl E (1971): Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Ökologie der Gefäß-Makrophyten im Fließgewässersystem der Moosach. *Arch. Hydrobiol.* 69: 333–365.
- Kresser (1964): Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. *Österr. Wasserwirtschaft* 16: 6–11.
- Mueller M, Pander J, Geist J (2014): The ecological value of stream restoration measures: an evaluation on ecosystem and target species scale. *Ecological Engineering* 62: 129–139.
- Mueller M, Pander J, Wild R, Lueders T, Geist J (2013): The effects of stream substratum texture on interstitial conditions and bacterial biofilms: Methodological strategies. *Limnologica* 43: 106–113
- NID (2013): Niedrigwasser-Informationsdienst, Bayerisches Landesamt für Umwelt. <http://www.nid.bayern.de>
- Niederbudde EA, Vogl W (1987): Tonmineral- und K-Ca-Austauscheigenschaften von Oberböden des Nährstoffpotentialversuches Hallertau. *Z. Pflanzen-ernähr. Bodenkunde* 150: 297–303
- Oberstadler T (1988): Struktur, Körnung, Schwermetallgehalte und Mineralogie von Unterwasserböden und Sedimenten im Fließwassersystem Moosach. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, 81 S.
- Palmer MA et al. (2005): Standards for ecologically successful river restoration. *J. Appl. Ecol.* 42: 208–217.
- Pander J, Geist J (2010): Salmonid egg floating boxes as bioindication for riverine water quality and stocking success. *J. Fish Biol.* 76: 2584–2590.
- Pander J, Geist J (2013): Ecological indicators for stream restoration success. *Ecol. Indicators* 30: 106–118.
- Pander J, Mueller M, Geist J (2014): A comparison of four stream substratum restoration techniques concerning interstitial conditions and downstream effects. *River Research and Applications*. DOI: 10.1002/rra.2732
- Pander J, Schnell J, Sternecker K, Geist J (2009): The "egg sandwich" – a method for linking spatially resolved salmonid hatching rates with physico-chemical habitat variables in stream ecosystems. *Journal of Fish Biology* 74: 683–690.
- Pander J, Geist J (2010): Salmonid egg floating boxes as bioindication for riverine water quality and stocking success. *J. Fish Biol.* 76: 2584–2590.
- Parkhurst DL, Thorstenson DC, Plummer LN (1990): PHREEQE - A computer program for geochemical calculations. (Conversion and upgrade of the prime version of PHREEQE to IBM PC compatible systems by Tirisanni JV and Glynn PD). *U.S. Geol. Surv. Wat. Res. Invest. Rep.* 80-96, 197 S.
- Peršoh D (1998): Onkoide in Moosach und Sempt – Entstehung, Struktur und Verbreitung. Diplomarbeit, Fachgebiet Fischbiologie, TU München, 69 S.
- Pulg U (2009): Laichplätze der Bachforelle (*Salmo trutta*) in der Moosach – die Bewertung ihrer Funktionsfähigkeit, ihre Degradierung und ihre Restaurierung. Diss. TU München.
- Pulg U, Barlaup BT, Sternecker K, Trepl L, Unfer G (2013): Restoration of spawning habitats of brown trout (*Salmo trutta*) in a regulated chalk stream. *River Research and Applications* 29: 172–182.
- Scheibner B (1988): Chemische und ökologische Untersuchungen an Unterwasserböden und Sedimenten im Fließwassersystem Moosach. Diplomarbeit, Lst. f. Bodenkunde, TU München, 99 S.
- Stein H (1987): Die Auswirkungen von Besatzmaßnahmen auf den Fischbestand der Moosach. Bayer. Landesanstalt f. Wasserforschung; Bericht Nr. 3: 81 S.
- Sternecker K, Cowley DE, Geist J (2013): Factors influencing the success of salmonid egg development in river substratum. *Ecol. Freshwater Fish* 22: 322–333.
- Sternecker K, Denic M, Geist J (2014): Timing matters: species-specific interactions between spawning time, substrate quality, and recruitment success in three salmonid species. *Ecology and Evolution* 4: 2749–2758.

D-01: Klimarelevanz von Hochmooren am Alpenrand: Standort, Vegetation, Nutzung und Treibhausgasemissionen der ICOS-Standorte Mooseurach bei Königsdorf und Schechenfilze bei Seeshaupt

Matthias Drösler¹⁾, Niko Roszkopf²⁾, Janina Hommeltenberg³⁾, Jörg Eberl¹⁾, Shomnath Adhikari¹⁾, Hans Peter Schmid³⁾,

1) Vegetationsökologie, Hochschule Weihenstephan Triesdorf (HSWT)

2) Dezernat Bodengeologie, Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

3) Karlsruhe Institute of Technology KIT, Institute of Meteorology and Climate Research Atmospheric Environmental Research (IMK-IFU)

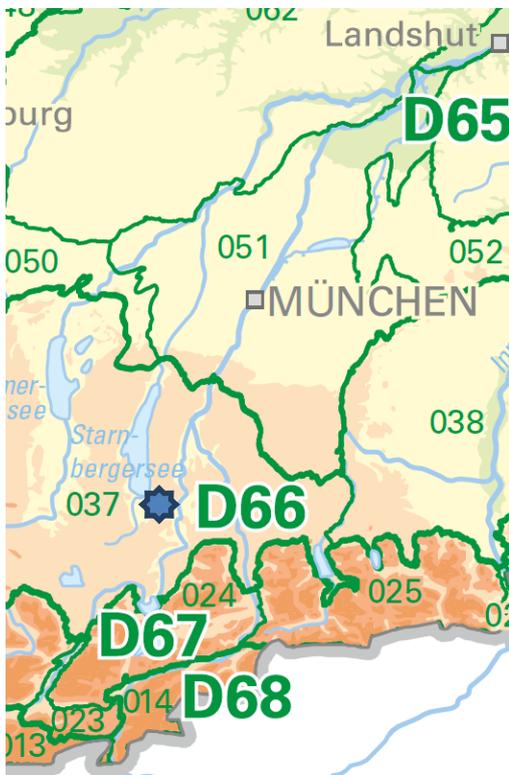


Abb.1: Ausschnitt aus der Naturräumlichen Gliederung Bayerns (Quelle: Landesamt für Umwelt Bayern) und Exkursionsziel (blauer Stern)

D65 Unterbayerisches Hügelland und Isar-Inn-Schotterplatten
050 Fürstenfeldbrucker Hügelland,
051 Münchener Ebene
052 Isen-Sempt-Hügelland

D66 Voralpines Moor- und Hügelland
037 Ammer-Loisach-Hügelland
038 Inn-Chiemsee-Hügelland

D67 Schwäbisch-Oberbayerische Voralpen
024 Kocheler Berge
025 Mangfallgebirge

D68 Nördliche Kalkalpen

1 Naturräume entlang der Fahrtroute

051: Münchner Schotterebene

Landschaftliche Charakteristik: Die schwach nach Norden geneigte Münchener Ebene verdankt ihre Entstehung den glazialen und post-glazialen Schmelzwasserströmen, die mit ihren Schottermassen diese große Ebene im Vorfeld der Gletscher aufgeschüttet haben. In diesem Schotterkörper bewegt sich über einer wasserstauenden Flinzschiefer ein tief liegender Grundwasserstrom in nördlicher Richtung. Infolge des Gefälles wird der Grundwasserflurabstand nach Norden hin immer geringer. In

den nördlichen Randbereichen kam es durch das zutage tretende Grundwasser zu großen Randvermoorungen. Im Süden haben der Hachinger Bach, die Würm und vor allem die Isar tiefe Durchbruchstäler geschaffen. Insbesondere Würm und Isar bilden in ihrem weiteren Verlauf durch die Ebene wichtige Gliederungsstrukturen. Abgesehen von den wenigen Hauptflüssen, die die Ebene queren, ist der Naturraum äußerst arm an natürlichen Gewässern.

Auf den jüngeren Schotterterrassen im Nordteil des Naturraums herrschen äußerst flachgründige, durchlässige Böden vor, auf denen von

Natur aus sehr trockene und magere Standortbedingungen gegeben sind.

Nutzung und Vegetation: In dem Naturraum liegt die Landeshauptstadt München. Der gesamte Raum unterliegt einer enormen Entwicklungsdynamik und hat gleichzeitig wichtige Erholungsfunktionen für die Millionenstadt zu erfüllen. Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen überwiegt der Ackerbau. Südlich von München wird der Raum von großflächigen Wäldern geprägt. Die flachgründigen Böden nördlich der Stadt München sind das Hauptverbreitungsgebiet der Heiden im Münchner Raum. Die typischen Kalkmagerrasen sind im Vergleich zu ihrem ehemaligen Verbreitungsgebiet stark zurückgegangen. In Verbindung mit den Hart- und Lohwäldern im Münchner Norden stellen sie aber immer noch einen der bedeutsamsten Magerrasenlebensräume in Mitteleuropa dar. Die ehemals ausgedehnten Niedermoorgebiete am Nordrand des Naturraums sind z.T. massiv entwässert worden und unterliegen größtenteils einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung. Auch der Flughafen *Franz-Josef-Strauß* liegt im Bereich der Niedermoorzone. Trotz der tiefgreifenden Veränderungen zeichnen sich die Niedermoorbereiche immer noch durch eine hohe Anzahl stark gefährdeter bzw. vom Aussterben bedrohter Arten aus. Die Isar durchzieht die Ebene von Südwesten nach Nordosten und bildet auf langen Abschnitten einen Raum von hoher Biotopqualität.

037 Ammer-Loisach-Hügelland

Landschaftliche Charakteristik: Die Jungmoränenlandschaft zeigt die typischen Geländeformen einer von den Gletscherzungen der letzten Eiszeit überformten Landschaft. Charakteristisch dafür sind unter anderem das vielfältige und stark bewegte Relief und der Reichtum an Gewässern und Mooren (vgl. auch Naturraum 038 Inn-Chiemsee-Hügelland). In besonderer Weise prägend für den Raum sind die beiden großen Seen, Ammersee und Starnberger See, deren Becken ebenfalls während der Eiszeit geformt wurden. Die naturräumlichen Voraussetzungen bedingen eine hohe Standortvielfalt. Im Zusammenspiel mit dem charakteristischen Relief konnte auf diese Weise eine

äußerst abwechslungsreiche und vielfältige Landschaft voralpiner Prägung entstehen. Dies gilt in besonderer Weise für das sog. „Fünf-Seen-Land“, wie das Gebiet zwischen Ammersee und Starnberger See genannt wird.

Nutzung und Vegetation: Im Ammer-Loisach-Hügelland nehmen Wald und Grünland einen relativ hohen Flächenanteil ein. Daneben weist der Naturraum einen sehr hohen Anteil von Flächen mit hoher und sehr hoher naturschutzfachlicher Bedeutung auf. Dazu gehören unter anderem einige großflächige Moorkomplexe, aber auch eine Vielzahl kleinerer Niedermoor- und Quellgebiete. Nutzungsintensivierung einerseits und Nutzungsauffassung andererseits führen jedoch zunehmend zu einer Beeinträchtigung dieser naturnahen Gebiete. Von der sog. „Hardtlandschaft“, einer ehemals ausgedehnten parkartigen Mischung aus Grünland und lichten Weidewäldern, sind heute nur mehr sehr kleinflächige, stark verinselte Reste zu entdecken. Mit Kloster Andechs liegt einer der bekanntesten Wallfahrtsorte Bayerns in diesem Teilraum. Die landschaftlichen Schönheiten des Naturraums, insbesondere des Starnberger Sees und seines Umlands, führten dazu, dass wohlhabende Münchner ab dem 19. Jahrhundert hier zahlreiche Schlösser, Villen und Landsitze errichteten. Auch das bayerische Königshaus plante und baute am Starnberger See. So wurde das Gebiet früh von einer elitären Gesellschaftsschicht als Erholungsraum entdeckt und in Besitz genommen. Mit dem rasanten Wachstum Münchens wurde das „Fünf-Seen-Land“ zu einem der am stärksten frequentierten Naherholungsgebiete Münchens und unterliegt heute einem hohen Erholungsdruck.

2 Exkursionsziele

Die beiden Exkursionsgebiete *Schechenfilze* und *Mooseurach* liegen südlich bzw. 10 km östlich des Süd-Endes des Starnbergsees. Wie aus der Moorbodenkarte ersichtlich (Abb. 2), handelt es sich um Hochmoorstandorte. Insgesamt wurden vier Hochmoorböden an diesen Standorten hinsichtlich ihrer Stratigraphie und ihrer wesentlichen physiko-chemischen Eigenschaften untersucht.

Es wurden gestörte sowie ungestörte Proben mittels Stechzylinder entnommen. Aus tief liegenden Bodenhorizonten im wassergesättigten Bereich des Profils konnten keine ungestörten Proben entnommen werden. Hier fehlen daher Daten zur Bodenphysik. Lediglich die Trockenrohdichte konnte näherungsweise, auch für tiefere Schichten, aus Proben der Moorklappsonde ermittelt werden. In der Schechenfilze wurden keine ungestörten Proben entnommen.

Torf zählt geologisch betrachtet zu den jüngsten und daher in der Regel wenig oder nicht verfestigten Sedimentgesteinen. Er verfügt

daher über ein sehr hohes Gesamtporenvolumen, welches sich maßgeblich auf die weiteren bodenphysikalischen Eigenschaften auswirkt. In Abhängigkeit von Genese (und der daraus resultierenden Torfart) und dem Pedogenese-grad unterscheiden sich die physikalischen Eigenschaften der Torfe mitunter sehr stark. Um Aussagen über die laterale Wasserbewegung, die Wasserspeicherung, etc. für einen Moorstandort vornehmen zu können, ist daher eine detaillierte Betrachtung der Moorstratigraphie und der Eigenschaften der jeweiligen Bodenhorizonte notwendig.

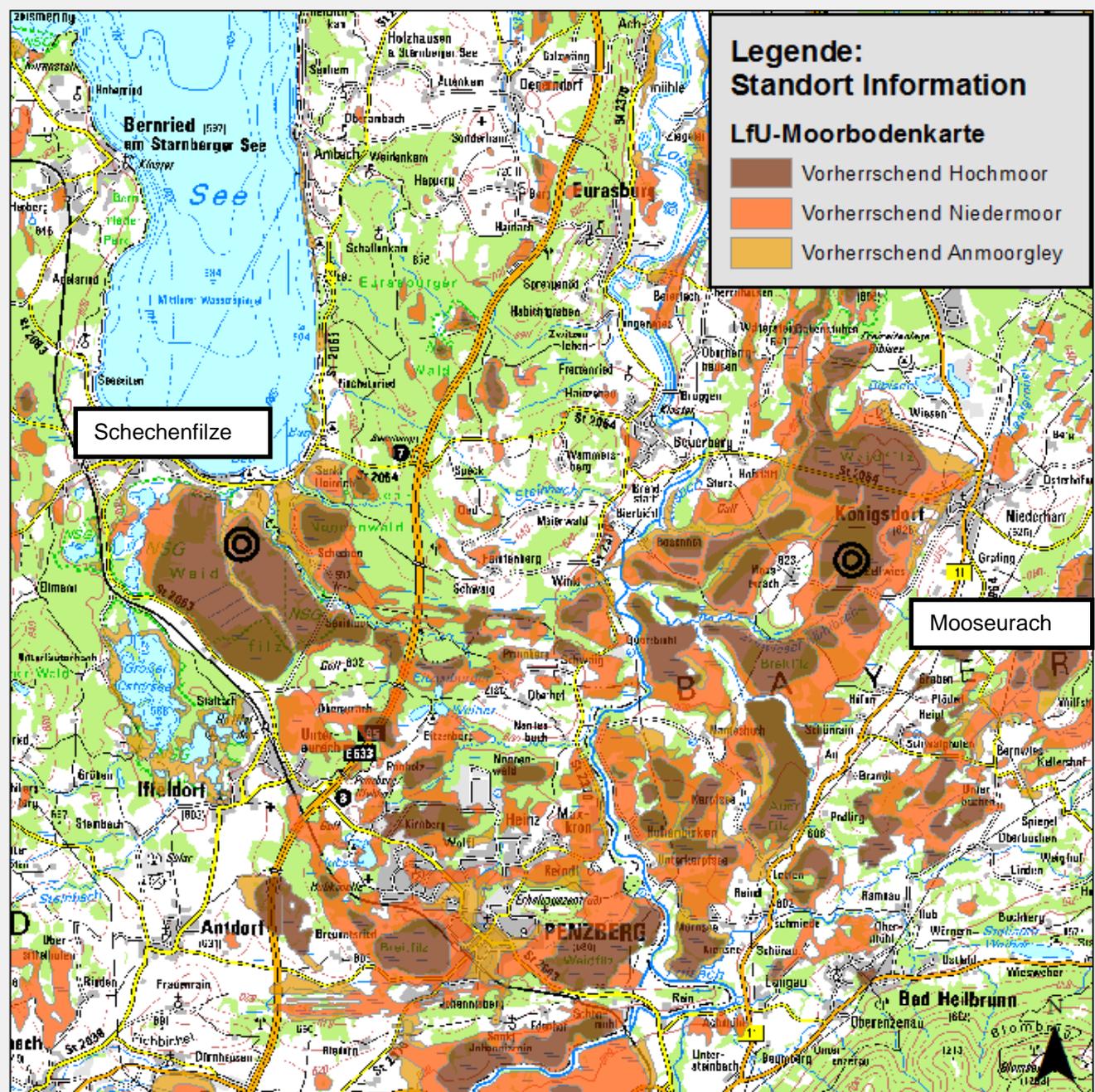


Abb. 2: Moorbodenkarte 25, Bayern (Landesamt für Umwelt) mit Lage der Untersuchungsgebiete Mooseurach und Schechenfilze

2.1 Überblick Mooseurach

Das Untersuchungsgebiet (UG) *Fichtenforst* liegt ca. 0,7 km östlich von Mooseurach in einem Fichtenforst im Zellwieser Hochmoor. Das UG *Breitfilz* mit einer Fläche von 35 ha liegt ca. 10 km nordwestlich von Bad Tölz und 1,3 km südlich von Mooseurach. Beide UGs gehören zu einem ausgedehnten Moorkomplex der sich zwischen den *Loisach-Kochelsee-Mooren* im Süden und der *Königsdorfer Moränen- und Moorplatte* bei Wolfratshausen im Norden erstreckt.

Die Moore um das Gut Mooseurach wurden Anfang des 20. Jahrhunderts aufgekauft und entwässert, um sie erst für die Torfgewinnung, später für die Landwirtschaft zu nutzen. Die schwierigen Standortverhältnisse machten die Bewirtschaftung zunehmend unwirtschaftlich. So trat in den 1950er Jahren die forstliche Nutzung in den Vordergrund, und es wurden verstärkt Kiefern- und Fichtenforste angelegt (Bosch & Partner 2001, Bernrieder 2003).

Renaturierungsmaßnahmen wurden in den Mooren um das Gut Mooseurach seit 1992 geplant und umgesetzt (Bosch & Partner 2001). Während im UG *Breitfilz* sehr umfangreiche Maßnahmen 1993 und 2005 durchgeführt und in einem Monitoring begleitet wurden, findet in den geschlossenen Fichtenforsten ein sukzessiver Umbau zu naturnahen Moor-Fichten-Plenterwäldern statt (Pflege- und Entwicklungskonzept, Bosch & Partner 2001). Auf den Fichtenflächen ist noch die Holzkasten-dränung vorhanden und aktiv.

2.2 Überblick Schechenfilze

Das Schechenfilz ist ein ca. 111 ha großes Hochmoor südlich des Starnberger Sees ca. 3 km südöstlich von Seeshaupt. Mit dem direkt westlich angrenzenden Weidfilz gehört es zu einer durch den Isar-Vorlandgletscher vorgeformten Seen- und Moorlandschaft. Schechen- und Weidfilz bilden zusammen den Nordteil des seit 1981 bestehenden Naturschutzgebietes „Osterseen“, das auch FFH-Gebiet ist.

Bis in die 1950er Jahre wurde im Schechenfilz Torf abgebaut. Neben den eigentlichen Abbauflächen wurden weitere Bereiche des Moores

bereits durch Schlitzgräben für den Abbau vorbereitet. Lediglich der südliche Bereich des Moores ist weitgehend naturnah geblieben. Im Schechenfilz wurden seit 2001 Maßnahmen wie die Verfüllung der Schlitzgräben zur Renaturierung umgesetzt (Siuda 2001).

2.3 Bodenprofile

Bei den untersuchten Moorböden handelt es sich um nicht wurzelechte Hochmoore (Tabelle 1). Das heißt, dass im Zuge der Moorentwicklung zunächst eine grund- bzw. stauwasserbeeinflusste Torfsedimentation mit der Ausbildung von Radizellentorfen stattgefunden hat, bevor die regenwassergespeiste Hochmoorentwicklung mit Sedimentation von *Sphagnum*- und *Eriophorum*-Torfen einsetzte.

Die Radizellentorfe (Hnr; alle Kürzel nach KA5) wurden im Wesentlichen von verschiedenen Carex-Arten gebildet und weisen häufig Reste von Schilf (*Phragmites*) sowie Birke und Kiefer auf.

Die Sphagnumtorfe (Hhs) entstanden aus verschiedenen Torfmoosen. Häufig ist *Sphagnum magellanicum* erkennbar, ein Vertreter der *Sphagnum*- (bzw. *Cymbifolia*-) Sektion. Es ist charakterisiert durch seine tannenzapfenartigen Blättchen und eine rote Färbung. Neben den Torfmoostorfen ist der Wollgrastorf (Hhe) häufig bzw. als Nebengemengeteil in Sphagnumtorfen enthalten.

Torfe sind generell durch sehr hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff gekennzeichnet. Alle untersuchten Torfe (vgl. Horizont-Substrat-Kombinationen in Tabelle 2) weisen typische Gehalte auf. Bei den C_{org}/N -Verhältnissen unterscheiden sich Hoch- und Niedermoor-torfe. Die Verhältnisse bei den Hochmoortorfen sind weiter als bei Nieder- bzw. Übergangsmoor-torfen. Die Torfe sind vorwiegend stark sauer (pH-Wert-Bereich 4,0 - <4,7) bis sehr stark sauer (pH-Wert-Bereich 3,3 - <4,0) was für Regenwasser gespeiste Moore typisch ist.

Mooseurach

Die untersuchten Böden (Tabelle 4, 5 und 6) sind Normerdhochmoore (KHn), die durch einen vererdeten Oberbodenhorizont gekennzeichnet sind. Dieser Horizont weist im Gegen-

satz zu weniger degradierten Horizonten ein krümeliges Gefüge auf. Die Torfart war in diesem durch Humifizierung und Mineralisierung pedogenetisch veränderten Oberboden amorpher Torf, der im Gegensatz zu den anderen Horizonten keinen Rückschluss auf den Torfbildner zuließ. Die Unterbodenhorizonte der Profile weisen keine pedogenetischen

Überprägungen in Form von Aggregation/Segregation oder Schrumpfung auf. Sie befinden sich durchweg im Bereich des Wechselwassers oder im dauerhaft durch Wasserverfüllung gekennzeichneten Teil des Bodens. WRB: Ombric „Sapric Histosol (Dystric, Drainic)

Tabelle 1: Kennzeichnung der Bodenprofile und Aufnahmesituation (Abkürzungen nach AG Boden, 2005)

Standort	Mooseurach 1	Mooseurach 2	Mooseurach 3	Schechenfilz
Profilnr.	M13_14	M15_16	M17_18	SF 1
Bodentyp	KHn	KHn	KHn	HHn
Substrattyp	og-Hh (Hhs)	og-Hh (Hhs)	og-Hh (Hhs)	og-Hh (Hhs)
Bodenform	KHn: og-Hh (Hhs)	KHn: og-Hh (Hhs)	KHn:og-Hh (Hhs)	HHn:og-Hh (Hhs)
HGMT	RM	RM	RM	RM
Geologie	RM	RM	RM	RM
GWS	-30	-10	-30	-10
Datum	19.05.2010	19.05.2010	19.05.2010	20.05.2010
Bearbeiter	Roßkopf	Roßkopf	Roßkopf	Roßkopf
Neigung	N0	N0	NO	N0
Reliefformtyp	KS,F	KS,F	KS,F	KS,F
Reliefposition	R	R	R	R
Hochwert	5296320	5296209	5297998	5297369
Rechtswert	683132	683087	683915	674273
Höhe über NN (m)	584	591	605	592
Nutzung	FP	ehem. FP	FP	
Vegetation	Kiefer, Calluna, Laubmoos, Molinia	Calluna, Molinia	Fichte, Moos, Farn	Sphagnum, Spirken
Witterung	WT4	WT4	WT4	WT5
anthr. Veränderungen	DR	DR (unterbrochen)	DR	

Schechenfilze

Das untersuchte Profil (Tabelle 1 u 6) ist ein Normhochmoor. Es unterscheidet sich von den Profilen um Mooseurach, da keine Oberboden-degradation zu erkennen ist. Die tiefer gelegenen Unterbodenhorizonte weisen auch hier keine pedogenetische Überprägung auf.

Die untersuchten Torfe verfügen generell über sehr hohe Gesamtporenvolumina und geringe Substanzvolumina (Tabelle 2). Die geringer zersetzten Torfe (Hhs3-4) verfügen mit 95 % über ein etwas höheres Gesamtporenvolumen

als die stärker zersetzten Sphagnumtorfe (Hhs 3-4). Die nutzbare Feldkapazität ist sehr hoch. Die Trockenraumdichte liegt, wie für nicht pedogenetisch veränderten Hochmoortorfen typisch, unter 0,1 g/cm³. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf- Werte) streut generell stark. Die Werte liegen durchweg im hohem bis sehr hohem Bereich (vgl. AG Boden, 2005). Die etwas stärker zersetzten Torfe zeigen tendenziell etwas geringere Wasserleitfähigkeiten.

WRB: Ombric Hemic Histosol (Dystric)

Tabelle 2: Laborergebnisse der untersuchten Profile (Abkürzungen der HSK (Horizont-Substrat-Kombinationen) vgl. AG Boden, 2005; ZG= Zersetzungsgrad nach von Post (1 sehr gering bis 10 sehr stark, TRD= Trockenroh-dichte)

Profil	Hor.- Nr.	HSK	ZG	C _{org}	N ----- % / TS	C ----- % / TS	S ----- % / TS	Ca ----- g/kg	Fe ----- g/kg	P ₋ ----- g/kg	P dl mg/100 g	K dl mg/100 g	pH	C _{org} /N	TRD g/gm ³
M13/14	1	uHv:Ha	10	52,2	1,90	53,5	0,26	2,7	1,5	0,81	6,4	20,2	4,0	27	0,15
M13/14	2	hHr:Hhs	8	53,9	1,49	55,0	0,22	3,2	0,4	0,41	2,9	2,0	3,6	36	0,12
M13/14	3	hHr:Hhs	8	53,3	0,95	54,1	0,12	2,2	0,4	0,20	1,0	2,0	3,9	56	0,10
M13/14	4	hHr:Hhs	3	55,5	1,86	57,0	0,19	2,4	0,6	0,19	0,7	2,9	3,6	30	0,10
M13/14	5	hHr:Hhs	2	55,8	1,92	56,5	0,22	3,1	0,7	0,15	0,5	2,5	4,3	29	0,09
M13/14	6	uHr:Hnr	3	57,3	2,37	58,0	0,25	5,8	0,8	0,14	0,7	1,4	4,0	24	0,09
M13/14	7	uHr:Hnr	3	56,4	2,11	57,1	0,37	9,3	0,8	0,12	0,5	0,7	4,1	27	0,10
M13/14	8	fFr:Fhg		45,0	2,26	45,5	0,33	15,5	3,1	0,33	0,8	1,8	6,0	20	n.b.
M13/14	9	fFr:Fms		10,1	0,59	10,8	0,09	8,0	12,6	0,42	2,7	7,5	6,1	17	n.b.
M15/16	1	uHv:Ha	10	51,7	2,12	52,3	0,27	2,5	0,9	0,64	3,4	7,5	4,8	24	0,12
M15/16	2	hHr:Hhs	7	52,7	0,87	53,9	0,11	1,3	0,6	0,21	0,9	0,1	4,0	60	0,10
M15/16	3	hHr:Hhs	4	51,2	0,74	52,4	0,11	1,7	0,5	0,18	1,0	1,4	3,6	70	0,13
M15/16	4	hHr:Hhs	6	51,6	0,85	52,5	0,10	1,7	0,5	0,18	0,9	2,3	4,0	61	0,09
M15/16	5	hHr:Hhs	3_4	56,0	0,79	56,7	0,20	2,1	0,4	0,14	0,6	1,3	3,5	71	0,09
M15/16	6	uHr:Hnr	7	56,3	2,16	56,5	0,40	9,9	0,8	0,14	0,5	0,9	4,0	26	0,09
M15/16	7	fFr:Fmu		6,4	0,49	6,9	0,10	8,1	15,1	0,70	5,5	9,4	6,0	13	n.b.
M15/16	8	fFr:Fmu		2,5	0,15	6,1	0,03	63,3	12,8	0,45	1,5	3,7	5,9	16	n.b.
M15/16	9	fFr:Fmk		0,5	0,03	9,8	0,02	170,8	4,3	0,18	0,5	2,2	6,8	18	n.b.
M17/18	1	uHv:Ha	10	49,7	2,24	51,0	0,30	4,6	4,2	0,99	5,5	7,9	4,2	22	n.b.
M17/18	2	hHr:Hhs	7	53,5	2,09	54,9	0,22	3,0	0,4	0,50	3,2	6,5	3,9	26	0,10
M17/18	3	hHr:Hhs	8	55,3	1,58	56,6	0,21	1,4	0,6	0,27	1,0	3,3	4,9	35	n.b.
M17/18	4	hHr:Hhs	8	54,6	1,64	55,8	0,13	3,4	0,3	0,28	0,8	1,0	3,6	33	n.b.
M17/18	5	hHr:Hhs	8	52,6	1,45	54,6	0,28	21,0	1,1	0,25	2,4	1,0	4,2	36	0,10
M17/18	6	fFr:Fmk		6,4	0,48	17,3	0,11	305,4	0,6	0,06	0,4	0,0	6,7	13	n.b.
SF1	1	hHr:Hhs	2	47,4	1,26	48,3	0,17	3,0	1,0	0,55	13,8	92,0	3,9	38	n.b.
SF1	2	hHr:Hhs	1	45,2	1,08	46,5	0,16	2,1	1,1	0,46	17,5	68,3	3,9	42	0,09
SF1	3	hHr:Hhs	7	55,6	1,49	55,9	0,15	0,7	0,3	0,34	1,5	0,5	4,0	37	0,08
SF1	4	hHr:Hhs	8	55,1	1,05	55,6	0,11	1,3	0,4	0,23	1,1	1,5	4,2	53	n.b.
SF1	5	hHr:Hhs	7	55,3	1,05	56,1	0,14	3,9	0,3	0,24	1,0	0,9	3,5	53	n.b.
SF1	6	hHr:Hhs	8	52,4	0,76	52,7	0,10	2,4	0,3	0,18	1,2	2,1	4,0	69	n.b.
SF1	7	uHr:Hnr	6_7	54,5	2,32	54,7	0,41	9,1	1,0	0,21	0,8	0,4	3,5	23	n.b.
SF1	8	uHr:Hnr	6	37,9	1,93	38,0	0,56	10,6	5,7	0,61	3,7	2,1	3,9	20	n.b.
SF1	9	fFr:Fms		1,2	0,10	4,3	0,04	52,4	10,8	0,39	1,0	11,1	3,8	12	n.b.

Tabelle 3: Bodenprofil Mooseurach 1 (Erdhochmoor); Abkürzungen nach AG Boden (2005)

Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Torfart / Muddeart	ZG1	ZG2	Farbe	Humus	CaCO ₃	Durchwurzelung	sonstige Merkmale	Horizont	Substratart
8	6									L	
6	0									Of	
0	20	Ha	10	10	2,5YR2,5/2	h7	C0	Wf5,Wf6		uHv	og-Hu (Ha)
20	50	Hhs, Hhe	8	8	2,5YR2,5/1	h7	C0	Wg1,Wf3	BlS	hHw	og-Hh (Hhs, Hhe)
50	140	Hhe	8	8	2,5YR2,5/2	h7	C0	W0	Ba,Bl	hHr1	og-Hh (Hhs)
140	240	Hhs	3	3	7,5YR3/3	h7	C0	W0	Ba	hHr2	og-Hh (Hhs)
240	290	Hhs	2	2	7,5YR4/3	h7	C0		Ba,Bl	hHr3	og-Hh (Hhs)
290	350	Hnr	3	3	7,5YR3/2	h7	C0		Bl	II uHr1	og-Hu (Hnr)
350	430	Hnr	7	7	7,5YR3/2	h7	C0		Bl	II uHr2	og-Hu (Hnr)
430	440	Fhg			7,5YR3/2	h4	C0		Bc	III fFr	fl-Fh (Fhg)
440	450	Fms			10YR3/3	h1	C0		fG1, mG1,Bc	IV fFr	fl-Fm (Fmk)

Tabelle 4: Bodenprofil Mooseurach 2 (Erdhochmoor)); Abkürzungen nach AG Boden (2005)

Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Torfart / Muddeart	ZG1	ZG2	Farbe	Humus	CaCO ₃	Durchwurzelung	sonstige Merkmale	Horizont	Substratart
10	0									L+Of	
0	20	Ha	10	10	2,5YR2,5/2	h7	C0	Wf5,Wf6		uHv	og-Hu (Ha)
20	120	Hhs	7	7	2,5YR2,5/2	h7	C0	Wf5	Wr	hHw	og-Hh (Hhs)
120	170	Hhs, Hhe	4	4	2,5YR3/3	h7	C0	W9	Bl	hHr1	og-Hh (Hhs, Hhe)
170	200	Hhs	6	6	2,5YR3/3	h7	C0	W0	Bl	hHr2	og-Hh (Hhs)
200	360	Hnr	3	4	7,5YR4/3	h7	C0			I uHr1	og-Hu (Hnr)
360	440	Hnr	7	7	7,5YR3/3	h7	C0		Bl	I uHr2	og-Hu (Hnr)
440	450	Fmu			10 YR3/2	h5	C0		Bl	II fFr	fl-Fh (Fhg)
450	470	Fmu			2,5YR4/2	h4	C0		fG1, mG1, Bc	III fFr	fl-Fm (Fmu)
470	490	Fmk			2,5YR5/3	h1	C3.2		Bc	IV feFr	fl-Fm (Fmk)
10	0									L+Of	

Tabelle 5: Bodenprofil Mooserauch 3 (Erdhochmoor)); Abkürzungen nach AG Boden (2005)

Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Torfart / Muddeart	ZG1	ZG2	Farbe	Humus	CaCO ₃	Durchwurzelung	sonstige Merkmale	Horizont	Substratart
5	0				7,5YR2,5/2					L+Of	
0	20	Ha	10	10	10YR2/2	h7	C0	Wf4,Wg2		uHv	og-Ha
20	35	Hhs	7	7	10YR2/2	h7	C0	Wg2,Wg0	Be,Ba	hHw	og-Hh (Hhs)
35	100	Hhs	8	8	7,5YR2,5/2	h7	C0	Wf3,Wg0		hHr1	og-Hh (Hhs)
100	250	Hhs, Hhe	8	8	7,5YR2,5/3	h7	C0		Bl	hHr2	og-Hh (Hhs)
250	340	Hnr	8	8	10YR2/2	h7	C0		Be	II uHr	og-Hu (Hnr)
340	350+	Fmk			2,5Y7/2	h1	C3.2		Mol,Bc	III feFr	fl-Fm (Fmk)

Tabelle 6: Bodenprofil Schechenfilze 1 (Normhochmoor); Abkürzungen nach AG Boden (2005)

Tiefe von [cm]	Tiefe bis [cm]	Torfart / Muddeart	ZG1	ZG2	Farbe	Humus	CaCO3	Durchwurzelung	sonstige	Merkmale	Horizont	Substratart
2	0										L	
0	2	Hhs	2	2	7,5YR3/2	h7	C0	Wf5,Wg1	Be		hHw1	og-Hh (Hhs)
2	12	Hhs, Hhe	1	1	7,5YR4/6	h7	C0	Wf4,Wg1			hHw2	og-Hh (Hhs)
12	110	Hhs, Hhe	7	7	10YR2/2	h7	C0	W0			hHr1	og-Hh (Hhs)
110	220	Hhs	8	8	10YR2/2	h7	C0	W0	Be		hHr2	og-Hh (Hhs)
220	370	Hhs	7	7	7,5YR3/2	h7	C0		Be		hHr3	og-Hh (Hhs)
370	410	Hhs	8	8	7,5YR3/1	h1	C0		Bc, Bc		hHr4	og-Hh (Hhs)
410	480	Hnr	6	7	7,5YR2,5/2	h7	C0		Be		II uHr1	og-Hu (Hhs)
480	510	Hnr	6	6	7,5YR2,5/2	h7	C0		Be		II uHr2	og-Hu (Hhs)
510	518	Fms			5Y5/1	h2	C0		Bs,mG		III fFr	fl-Fm (Fms)
518	520	mS			5Y5/1	h1	C3.2		fG1, mG1		IV eGr	

Tabelle 7: Porenklassenanteil der untersuchten Torfe. Jeweils Mittelwerte (kf Median) aus 15 bis 20 Proben (SV=Substanzvolumen; GePV= Gesamtporenvolumen; GP= Grobporen; MP= Mittelporen; FP= Feinporen; LK Luftkapazität, nFK= nutzbare Feldkapazität; FK=Feldkapazität; TRD= Trockenrohdichte; kf= gesättigte Wasserleitfähigkeit)

Torfart	SV	GePV	GP pF 0-1,8	enge GP pF 1,8-2,5	MP pF 2,5-4,2	FP pF >4,2	LK pF < 1,8	nFK pF 1,8-4,2	FK pF >1,8	TRD	kf	
			----- Vol.-% -----								g/cm ³	cm/d
Hhs7-8	9,4	90,6	23,3	13,6	36,6	17,1	23,3	50,2	67,3	0,09	98	
Hhs3-4	5,1	94,9	23,4	8,3	41,5	21,8	23,4	49,8	71,5	0,09	250	

3 Vegetation und Nutzung

3.1 Mooseurach

Die Standorte in Mooseurach sind unterschiedlich genutzt: „Mooseurach 1“ ist ein lichter Kiefernbestand, der keiner forstwirtschaftlichen Nutzung mehr unterliegt. Er wurde im Zuge eines groß angelegten Renaturierungs-Experiments im Jahr 1993 aus der Nutzung genommen und die vorhandenen Kastendrainagen wurden unterbrochen. In der Folge stellte sich eine dichte *Sphagnum*- und Beerstrauchvegetation ein; dies sowohl weil die lichten Kiefernbestände ausreichend Licht durchlassen als auch der Wasserstand aufgrund der Renaturierungsmaßnahmen für diese feuchteabhängige Vegetation ausreichend hoch ist.

Auf dem Standort „Mooseurach 2“ wurde im Zuge des Renaturierungsexperiments ein Kahlschlag simuliert und anschließend wurden die Kastendrainagen unterbrochen. Auf dem so geschaffenen Offenlandstandort stellte sich

eine Vegetation aus Pfeifengras und Torfmoosen ein. Wie auch am Standort 1 (lichter Kiefernwald) haben die Torfmoose bereits zu beachtlichen Bultbildungen geführt.

Der Standort „Mooseurach 3“ ist ein Fichten(Kiefern)-Wald, der vor ca. 50 Jahren aufgeforstet wurde und sich nach wie vor in Nutzung befindet. Die Drainagen funktionieren weiterhin, werden aber nicht mehr aktiv unterhalten. Hier ist 2010 ein der Eddy-Kovarianz-Turm aufgestellt worden.

3.2 Schechenfilze

Trotz ihrer Nutzungsgeschichte (Kap 2.2) weist die Schechenfilze noch weitgehend naturnahe Flächen auf und ist zudem seit mehr als 10 Jahren renaturiert worden. Hinsichtlich der Vegetationsausstattung sind großflächig naturnahe Torfmoosgesellschaften vorhanden. Im Zentrum hat sich ein naturnaher Spirkenwald erhalten, der auch Gegenstand der Spurengasmessungen ist.

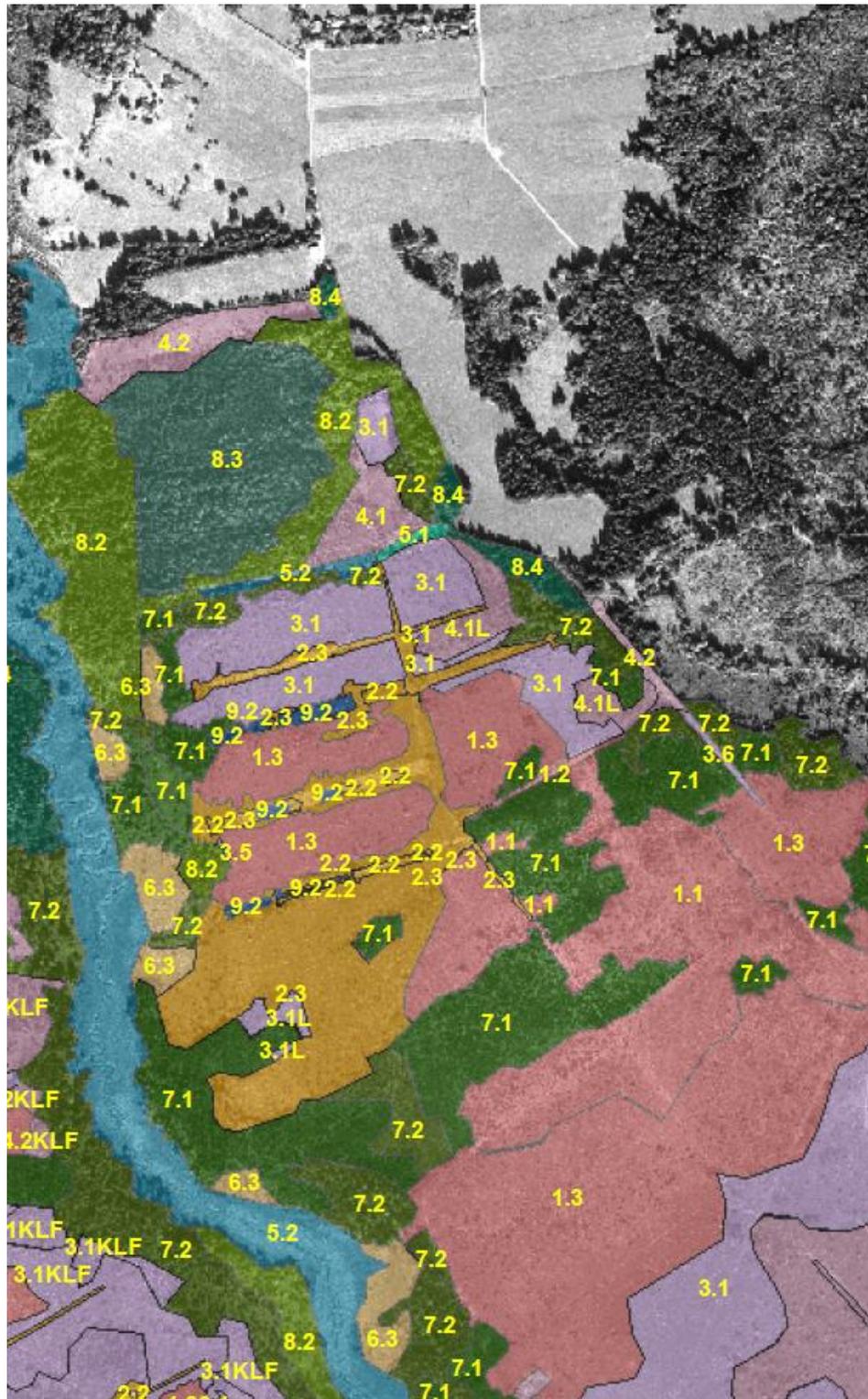


Abb. 3: Ausschnitt der Vegetation der Schechenfilze (Stand 2006; Landesamt für Umwelt, Siuda unveröff.).

Auszug aus der Legende:

- 1.1 Bunte Torfmoosrasen (BT)
- 1.2 BT mit Schnabelried
- 1.3 Bult-Schlenken-Komplex
- 2.1 Schlenken mit Blumenbinse
- 2.2 Grüne Torfmoos-Schlenken
- 2.3 Torfmoos-Wollgras-Übergangsmoor
- 3.1 Feuchte Hochmoorheide (FH) reine Ausbildung
- 3.1L FH mit Latsche
- 3.1KLF FH mit Kiefer, Latsche, Fichte
- 3.5 FH mit Schnabelried und Pfeifengras
- 3.6 FH mit Pfeifengras und Rasenbinse
- 4.1 trockene Hochmoorheide (TH)
- 4.1L TH mit Latsche
- 4.2 TH mit Pfeifengras
- 5.1 Schnabelseggenried
- 5.2 Schilfröhricht
- 6.3 Scheidenwollgrasrasen mit Pfeifengras
- 7.1 Latschen/Spirkenfilz
- 7.2 Waldkiefermoorwald mit Fichte, Rauschbeere
- 8.1 Birken Moorwald
- 8.2 Fichten-Birken-Moorwald
- 8.3 Fichten-Moorwald
- 8.4 Fichtenforst
- 9.2 offene Wasserfläche

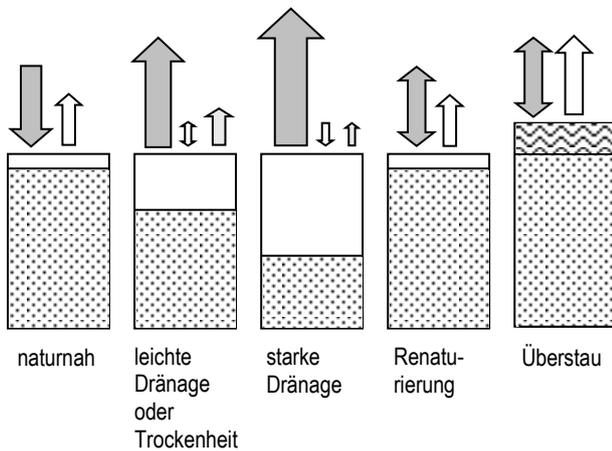


Abb. 4: Schematischer Vergleich von Flussrichtungen und Dimensionen der CO₂ - (dunkelgrau), CH₄ - (weiß) und N₂O - (hellgrau) Flüsse in Mooren. Gepunktet: wassergesättigtes Profil. Wellen: Freies Wasser durch Überstau (nach Drösler et al. 2008).

4 Treibhausgasemissionen

4.1 Hintergrund und Messprojekte

Moore sind für den Klimaschutz besonders relevante Ökosystemtypen. Moore speichern weltweit ca. 550 Pg Kohlenstoff, der seit der letzten Eiszeit der Atmosphäre als CO₂ entzogen wurde. Durch Drainage und Klimawandel kann dieser Kohlenstoff als CO₂ wieder freigesetzt werden. Die durch intensive Landnutzung der deutschen Moore verursachten Emissionen entsprechen ca. 5 % der gesamten fossilen Emissionen Deutschlands (NIR 2010). Wird Moorrenaturierung gezielt auf Klimaschutz ausgerichtet und sensibel mit dem Wasserstand umgegangen, kann ein erheblicher Beitrag zur Klimaentlastung erreicht werden. Reduktionspotenziale in Regenmooren liegen bei 15 t CO₂-Äquiv. ha⁻¹ a⁻¹ und in Grundwassermooren bei 30 t CO₂-Äquiv. ha⁻¹ a⁻¹. Für eine zukünftige Anrechnung der Emissionsreduktion ist es erforderlich, dass diese mit geeigneten Verfahren messbar, verifizierbar und berichtbar ist, was die hier präsentierten Methoden und Ergebnissen ermöglichen.

Aufgrund der Relevanz der Spurengasflüsse aus Mooren wurden in seit 2005 bundesweit verschiedene Verbundprojekte durchgeführt, die es nun immer besser erlauben, die Klimarelevanz von org. Böden zu verstehen und zu quantifizieren, so z.B.:

- Klimaschutz Moornutzungsstrategien,

BMBF 2006-2010,

- Organische Böden, TI, 2009-2013
- Moorschutz in Deutschland, BFN 2011-2013
- Klimarelevanz von Moorrenaturierungen in Bayern, LfU. Phasen 1-4, 2008-2018

4.2 Ergebnisse

Mittlere Emissionsfaktoren bundes-deutscher Moore: In Tabelle 8 sind die mittleren Emissionsfaktoren pro Landnutzungskategorie für deutsche Moore zusammengestellt. Datenbasis sind 130 Messjahre, die in den oben genannten Vorlaufprojekten generiert wurden. Die höchsten Emissionen löst die von Ackerbewirtschaftung aus, gefolgt von Intensivgrünland. Je nasser desto besser, aber Überstau führt zu einem erneuten Anstieg der Klimawirksamkeit aufgrund der erhöhten Methanemissionen. Die renaturierten und naturnahen Standorte können als +/- klimaneutral eingestuft werden. Wald auf Moor wurde bis 2010 noch nicht untersucht und war und ist daher in den Folgeprojekten (TI und ICOS) Gegenstand der Untersuchungen (s.u.).

Ergebnisse für die Exkursionsstandorte: Die zweijährige Untersuchung zum CO₂-Austausch zeigt, dass der drainierte Fichtenstandort aktuell für diesen Zeitraum und ohne die Rotation und Ernte einzubeziehen eine größere CO₂ Senke darstellt als der natürliche Moorkiefernwald (Mooseurach: -130 ± 31 und -300 ± 66 g C m⁻² a⁻¹ gegenüber Schechenfilz: -53 ± 28 und -72 ± 38 g C m⁻² a⁻¹). Die starke Photosyntheseleistung durch den hohen Pflanzenflächenindex der Fichten kompensiert die zweimal höhere Respiration am drainierten Standort und bewirkt so netto eine CO₂-Aufnahme. Für eine bewertbare C-Bilanz muss allerdings der gesamte Zeitraum seit Fichtenpflanzung vor 44 Jahren betrachtet werden. Schätzungen des C-Verlustes aus dem Boden gegenüber der Nettoaufnahme der Fichten zeigen, dass das drainierte Moorwald-Ökosystem netto ca. $+134$ t C ha⁻¹ verloren hat. Zusätzlich reagiert am drainierten Standort die C-Bilanz sehr sensibel auf Veränderungen von Umweltparametern, wie z.B. Temperatur und Niederschlag. Im Gegensatz dazu ist der Jahresverlauf des CO₂-Austauschs am natür-

lichen Standorte verhältnismäßig stabil, auch länger anhaltende warme und trockene Witterungsbedingungen können, z.B. durch die

hohe Wasserhaltekapazität des Bodens, kompensiert werden.

Tab. 8: Treibhausgasbilanzen je Moortyp und Nutzungskategorie. Minimum, Mittelwert, Maximum und Anzahl der untersuchten Testgebiete (n). Die Wasserstände je Nutzungskategorie unterschieden sich nicht zwischen Niedermoor und Hochmoor. (Drösler et al. 2011, verändert)

	CO ₂ -Äquivalente (t ha ⁻¹ a ⁻¹)								Wasserstand (cm)		
	----- Niedermoor -----				----- Hochmoor -----				Min	Mittel	Max
	Min	Mittel	Max	n	Min	Mittel	Max	n			
Acker	14	34	50	4							
Grünland intensiv / mittel	21	31	41	5		28		1	-39	-49	-98
Grünland extensiv trocken	20	23	31	4		20		1	-14	-29	-39
Grünland extensiv nass	6	10	16	4	0	2	4	2	6	-11	-25
Hochmoor trocken					5	10	12	3	-9	-18	-25
Naturnah/Renaturiert	-4	3	12	5	-1	0	3	3	-7	-10	-14
Überstau	11	28	72	4	6	8	10	2	-8	14	36

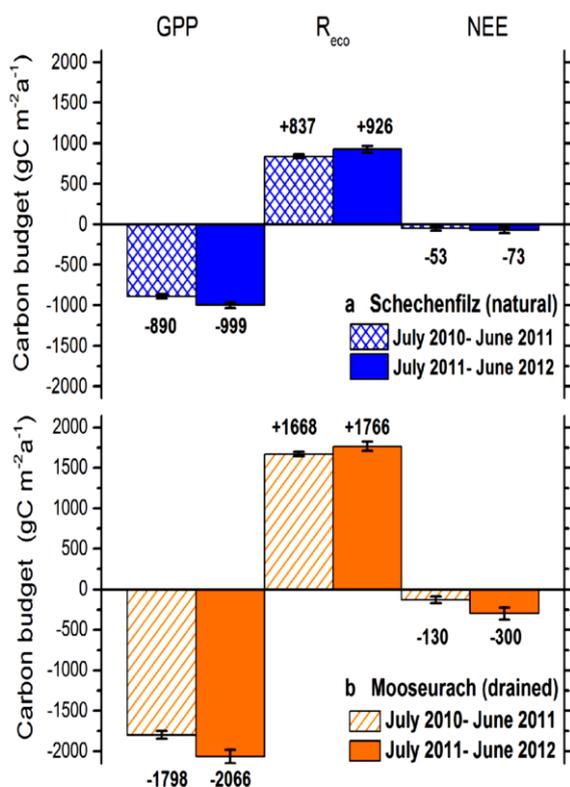


Abb. 5: Mit Eddy-Kovarianz ermittelte C-Bilanzen (GPP: Brutto-Primärproduktion; Reco: Ökosystematmung; NEE: Netto Ökosystem-Austausch) für Mooseurach und Schechenfilze (Hommeltemberg et al. 2014)

Für eine Gesamtreibhausgas-Bilanz ist eine Abschätzung der Methanemissionen notwendig. Die Bilanz von einem Jahr CH₄-Messung zeigt eine geringe jährliche Methanemission von $+5.3 \pm 0.34 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, woraus sich

zusammen mit der CO₂-Aufnahme in diesem Jahr ($62 \pm 20 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) eine geringe Treibhausgasenke von $-50 \pm 74 \text{ g [CO}_2 \text{ eq.] m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ergibt.

5. Zukünftiges Management

Organische Böden sind die größte Einzelquelle außerhalb des Energiesektors. Das zukünftige Management von organischen Böden muss sich an einer Reduktion der Klimawirksamkeit ausrichten. Kaskaden hierzu sind Umnutzung > Extensivierung > Nassbewirtschaftung > Renaturierung. Der derzeitige wissenschaftliche Kenntnisstand fließt bereits in Renaturierungsprogramme ein, wie z.B. das Klip2050 in Bayern.

Literatur

- AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl., Hannover. 438 S.
- Bernrieder, M. (2003): Renaturierung von land- und forstwirtschaftlich genutzten Hoch- und Übergangsmoorflächen. Laufener Seminarbeiträge 1/03 121-146. Bayer. Akad. f. Naturschutz und Landschaftspflege Laufen/Salzach.
- Bosch & Partner (2001): Renaturierung von land- und forstwirtschaftlich genutzten Moorflächen in Mooseurach. Endbericht 1992-2000. Bosch & Partner GmbH, München.
- Drösler, M., Freibauer, A., Christensen, T., Friborg, T. (2008) Observation and status of peatland greenhouse gas emission in Europe. In: Dolman, H., Valentini, R., Freibauer, A. (Hrsg.) The continental-scale greenhouse gas balance of Europe. Ecologi-

cal Studies, 203, 237-255.

- Drösler M., Freibauer A., Adelman W., Augustin J., Bergman L., Beyer C., Chojnicki B., Förster Chr., Giebels M., Görlitz S., Höper H., Kantelhardt J., Liebersbach H., Hahn-Schöfl M., Minke M., Petschow U., Pfadenhauer J., Schaller L., Schägner P., Sommer M., Thuille A., Wehrhan M., 2011: Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz – Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. vTI-Arbeitsberichte 4/2011.
- Hommeltenberg, J., Schmid, H. P., Drösler, M., Werle, P (2014).: Can a bog drained for forestry be a stronger carbon sink than a natural bog forest?, Biogeosciences 11, 3477-3493.
- Siuda, C. (2001): Renaturierungsplanung für die Flurstücke der Gemeinde Seeshaupt im Schechenfilz. Unveröff. Gutachten im Auftrag der Gemeinde Seeshaupt.
- WRB IUSS Working Group (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. Edited by P. Schad, C. van Huyssteen, E. Micheli. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

D-02: Raummuster (hoch-)alpiner Standorte als Resultat landschaftsdynamischer Prozesse

K.-F. Wetzel¹, P. Fiener¹, S. Grashey-Jansen¹, M. Heel¹, O. Sass²

¹ Institut für Geographie, Universität Augsburg, 86135 Augsburg

² Institut für Geographie und Raumforschung, Universität Graz, 8010 Graz

Einleitung

Hochgebirge zeichnen sich durch eine hohe räumliche Variabilität von Bodentypen aus. Eine Ursache dafür ist in den auf kurzer Distanz wechselnden Standortfaktoren zu sehen, welche die Pedogenese steuern. In den Nördlichen Kalkalpen sind dies zum einen die geologischen Verhältnisse mit parallel zum Gebirgsrand streichenden Einheiten, die zu einem schroffen Wechsel verschiedener Gesteine führen. Die klimatischen Verhältnisse variieren ebenso stark, denn mit Annäherung an den Alpenrand nehmen die Niederschläge bei gleichzeitig abnehmenden Temperaturen zu. Im Lee der ersten Gebirgsketten nehmen die Niederschläge zu den inneralpinen Trockentälern wieder ab, während die Temperaturen in gleicher Höhenlage aufgrund des Massenerhebungseffektes wieder ansteigen. Dazu kommen ausgeprägte Luv- und Leeeffekte sowie einstrahlungsbedingte Expositionsunterschiede, so dass ein sehr komplexes dreidimensionales Muster unterschiedlicher klimatischer Standortbedingungen auf engstem Raum existiert. Die lokalklimatischen Verhältnisse werden an einigen Standorten darüber hinaus durch den Föhn und seine austrocknende Wirkung massiv beeinflusst. Die Bodenentwicklung am Standort wird von weiteren externen Faktoren gestört. So erfolgen an steilen Hängen häufig langsame gravitative Bewegungen. Unterhalb von Felswänden kommt es zu Steinschlag oder Felsstürzen mit Verschüttung von Böden. In Lawingassen werden Böden ebenfalls immer wieder mit neuem Material überschüttet oder aber erodiert. Extremniederschläge mit hohen Intensitäten führen zudem durch Abspülung oder lokalen Massenbewegungen zu Bodenabtrag.

Waldbrände spielen in den Nördlichen Kalkalpen eine bislang deutlich unterschätzte Rolle auch hinsichtlich der lokalen Bodenentwicklung. Ein DFG-Projekt zu den Auswirkungen von Waldbränden in den Nördlichen Kalkalpen wurde an der Universität Augsburg durchgeführt. Ein Schwerpunkt des Waldbrandgeschehens im Raum Mittenwald / Scharnitz wird im Rahmen der Exkursion besucht. Ein weiterer häufig unterschätzter Faktor bei der Bodenbildung sind stoffliche Einträge von außen. So befinden sich auf hochgelegenen alpinen Karstlandschaften lokal verbrauchte Böden mit einem deutlichen Silikatgehalt, der nur durch allochthone äolische Einträge erklärbar ist, wie am Beispiel des Karwendelgebirges gezeigt wird.

Thema und Exkursionsroute

Die Exkursion fokussiert auf Prozesse in der Landschaft, die die räumliche Differenzierung von Böden im alpinen Raum beeinflussen. Dabei werden vor allem die Waldbrandproblematik und äolische Einträge von Flugstaub thematisiert. Die Exkursionsroute vorläuft von München zunächst über die A 97 nach Eschenlohe (Abb. 1). Von dort geht es auf der B 17 über Garmisch-Patenkirchen an Mittenwald vorbei nach Scharnitz in Österreich. Wenige Kilometer südlich von Scharnitz ist der erste Haltepunkt, an dem ein Überblick über das historische Waldbrandgeschehen gegeben wird. Nach einer kurzen Fahrtstrecke zur Karwendelbahn und einer Seilbahnfahrt zum Karwendelhaus auf 2.244 m ü.d.M. wird die Waldbrandproblematik abschließend diskutiert. Im Anschluss besteht die Gelegenheit zur Mittagspause. Danach schließt sich eine Wanderung in die hochalpine Karstlandschaft des Karwendelgebirges mit Ansprache unter-

schiedlicher Bodenstandorte an, wobei ein Schwerpunkt auf den Einflüssen von geomorphologischen Prozessen äolischen Stoffeinträgen liegt.



Abb. 1: Die Exkursionsroute im Überblick.

Das Exkursionsgebiet

Das Relief und die geologischen Strukturen stehen im Exkursionsraum in einem engen Zusammenhang. Das Gebiet ist durch die tektonischen Einheiten der verschiedenen alpinen Decken mit den markanten Gebirgsstöcken des Karwendels und des Wettersteingebirges sowie den tief eingeschnittenen Längs- und Quertälern von Inn, Isar und Loisach und ihren Nebenflüssen geprägt. Von Norden kommend gehören die ersten Gipfel der Lechtaldecke an und bestehen vor allem aus dem massigen gipfelbildenden Wettersteinkalk der alpinen Trias. Auch das weiter südlich gelegene Wettersteingebirge mit der Zugspitze gehört dieser tektonischen Einheit an. Das gleiche Gestein formt weitere bedeutende Gipfel im Bereich der sogenannten Schuppenzone, einem Gebiet

zwischen Lechtal- und Inntaldecke mit intensiv verstellten Gesteinspartien vor allem im Bereich des nördlichen Karwendelgebirges. Dabei weisen die schroffen Schichtköpfe häufig nach Norden während die Südhänge im Schichtfallen ausgebildet sind, ein Umstand der bei der Bodenbildung und den Folgen von Waldbränden eine erhebliche Relevanz hat. Südlich folgen weitere zur Inntaldecke gehörende Kämme des Karwendels und schließlich das Inntal mit Innsbruck.

Die heutigen Reliefstrukturen sind dabei das Resultat der tektonischen Prozesse, die im Zuge der alpinen Orogenese zu einer starken Raumeinengung und einem quer zur Bewegungsrichtung orientierten W-E Streichen der Gebirgsstöcke geführt hat (Tollmann 1985). Zusammen mit tektonischen Störungen, die SW-NE gerichtet sind und die Faltenstrukturen unterbrechen, bilden sie die Leitlinien für die großen Talsysteme, die diesen Gebirgsraum gliedern. Es sind vor allem das in Streichrichtung verlaufende Inntal sowie die Täler von Isar und Loisach, die sowohl der Streichrichtung als Längstäler, als auch den tektonischen Störungen folgend als Quertäler das Relief prägen. Die fluvial angelegten Talsysteme wurden im Pleistozän durch Gletscher aufgeweitet und stellen heute die Achsen des Verkehrsnetzes dar. So verlaufen die B2 und die Bahnlinie München-Innsbruck zunächst durch das Loisachtal und dann über das Isartal in das Inntal.

Im Gebiet von Mittenwald und Scharnitz treffen verschiedene Gebirgsgruppen aufeinander. Es sind dies die Ausläufer des nordwestlich gelegenen Wettersteingebirges, das östlich anschließende Karwendel, im Westen das Mieminger Gebirge und das direkt bei Scharnitz gelegene Arnspitzgebiet. Die teilweise schroff aufragenden Gebirgsgruppen prägen mit ihren teilweise 1000 m hohen Wandfluchten und den darunter anschließenden Schutthalden diesen Hochgebirgsraum.

Das Klima wird dem atlantisch geprägten nordalpinen Typus mit hohen Niederschlägen und einem ausgeprägten Winter mit erheblichen Schneemengen zugerechnet (Walter & Lieth 1964). Sowohl die Niederschläge als

auch die thermischen Verhältnisse variieren mit der Meereshöhe, wobei ein Gradient mit abnehmenden Niederschlägen und steigenden Temperaturen in Richtung Süden besteht. In den Kammlagen werden z.T. 2000 mm/a Niederschlag überschritten, in den Tälern sind es unter 1000 mm/a. Die Temperaturen liegen in den Tälern im Jahresmittel bei ca. 6-8 °C, auf der Zugspitze beträgt das langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur -2,8 °C (Müller-Westermeier 1996). Der Föhn hat in starker Abhängigkeit von den Relief- und Expositionsverhältnissen lokal eine erhebliche Bedeutung und kann durch seine austrocknende Wirkung die Entstehung von Bränden begünstigen. Bei starker Südströmung kann es darüber hinaus zu Einträgen von mineralischen Stäuben aus der Sahara und den Zentralalpen kommen.

Der Untersuchungsraum liegt vegetationsgeographisch in der Region der nördlichen Randalpen. Aufgrund der großen Höhenunterschiede im Exkursionsraum ist eine ausgesprochen starke vertikale Gliederung der Vegetation zu erkennen, die z.T. durch die drastische klimatisch bedingte Verkürzung der Vegetationsperiode um sechs bis sieben Tage pro 100 Höhenmeter zu erklären ist (Ellenberg & Leuschner 2010). In der montanen Stufe finden sich vor allem Mischwälder mit Buchen, Tannen und Fichten sowie Bergahorn; an trockeneren Standorten vor allem im Bereich der Föhngassen erreicht die Kiefer eine größere Dominanz. Mit zunehmender Höhe werden die Laubholzarten durch die Fichte verdrängt, die die beherrschende Baumart der subalpinen Höhenstufe darstellt. Die Fichte bildet in den meisten Fällen die Waldgrenze in Höhenlagen um 1.800 m. In felsigem Gelände auf nordexponierten Standorten bilden mosaikartige Vorkommen von Lärchenwäldern in ähnlichen Höhenlagen die Waldgrenze. Darüber hat das Legföhren oder Latschen-Krummholz (Pinetum Mugi), das bis in Höhen von über 2.000 m vorkommen kann, den Schwerpunkt seiner Verbreitung. Rasen- und Felsspaltengesellschaften schließen sich in der alpinen Stufe vertikal an.

Aufgrund der Relief- und Klimaverhältnisse herrschen im Exkursionsgebiet zumeist flach-

gründige und skelettreiche Böden mit A-C-Profilen vor. Da Kalke das dominierende Ausgangssubstrat der Bodenbildung darstellen, handelt es sich vor allem um Rendzinen und Pararendzinen. Die Mull-Rendzina besitzt einen charakteristischen Mull im A-Horizont, der durch eine Verbindung von organischer Substanz und mineralischen Bodenbestandteilen, einem engen C/N-Verhältnis und einer regen Tätigkeit der Bodenfauna aufgrund hoher pH-Werte und hoher Ca-Sättigung gekennzeichnet ist. Fortschreitende Bodenbildung führt je nach Ausgangssubstrat zur Ausbildung von verbraunten, Braunerde-, Terra fusca-, Pseudogley- und Pelosol-Rendzinen in hängigem Gelände. Durch Störung der Mullbildung z.B. durch starke Humidität oder Trockenheit sowie verkürzter Vegetationsperiode entstehen Moderrendzinen, wobei in den niederen kühlhumiden Lagen die Alpine Moderrendzina und oberhalb der Waldgrenze die Tangelrendzina verbreitet sind. Tangelrendzinen weisen ein L/Of/Oh/Ah/C-Profil mit einer Humusauflage von bis zu über 40 cm Mächtigkeit auf. Sie sind in ihrer sauren und dystrophen Ausprägung typisch für Fichtenwälder und Latschen-Krummholz. Unter Rasenbedeckung tritt an ihre Stelle die Alpine Pechrendzina, deren Humusauflage im unteren Teil dicht, feucht und schmierig erscheint. Externe Störungen wie Steinschlag, Solifluktion und schroffe Gesteinswechsel führen zu einem kleinräumigen Bodenmosaik. In den Hochlagen der Kalknordalpen spielen darüber hinaus äolische Einträge von silikatischem Material eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Bodenbildung, wie Untersuchungen von Küfmann (2003) und Duffy (2011) zeigen.

Waldbrände in den Kalknordalpen und ihre Auswirkungen

Untersuchungen zur Waldbrandgeschichte sind in den Alpen im Vergleich zu anderen Regionen mit häufigen Waldbränden selten. Für die Schweiz liegen Untersuchungen für die Südalpen von Berli et al. (1994) und Tinner et al. (1998, 1999), für das Wallis von Gimmi et al. (2004) und Bendel et al. (2006) sowie von Tinner et al. (2005) für die Schweiz im Überblick vor. Carcaillet et al. (1998) untersuchten

die nordfranzösischen Alpen. Für die nördlichen Kalkalpen wurden die lokalen Auswirkungen von Waldbränden in Tirol von Grabherr (1934,

1936 und 1963) untersucht. Eine systematische historische Aufarbeitung fehlte bislang.

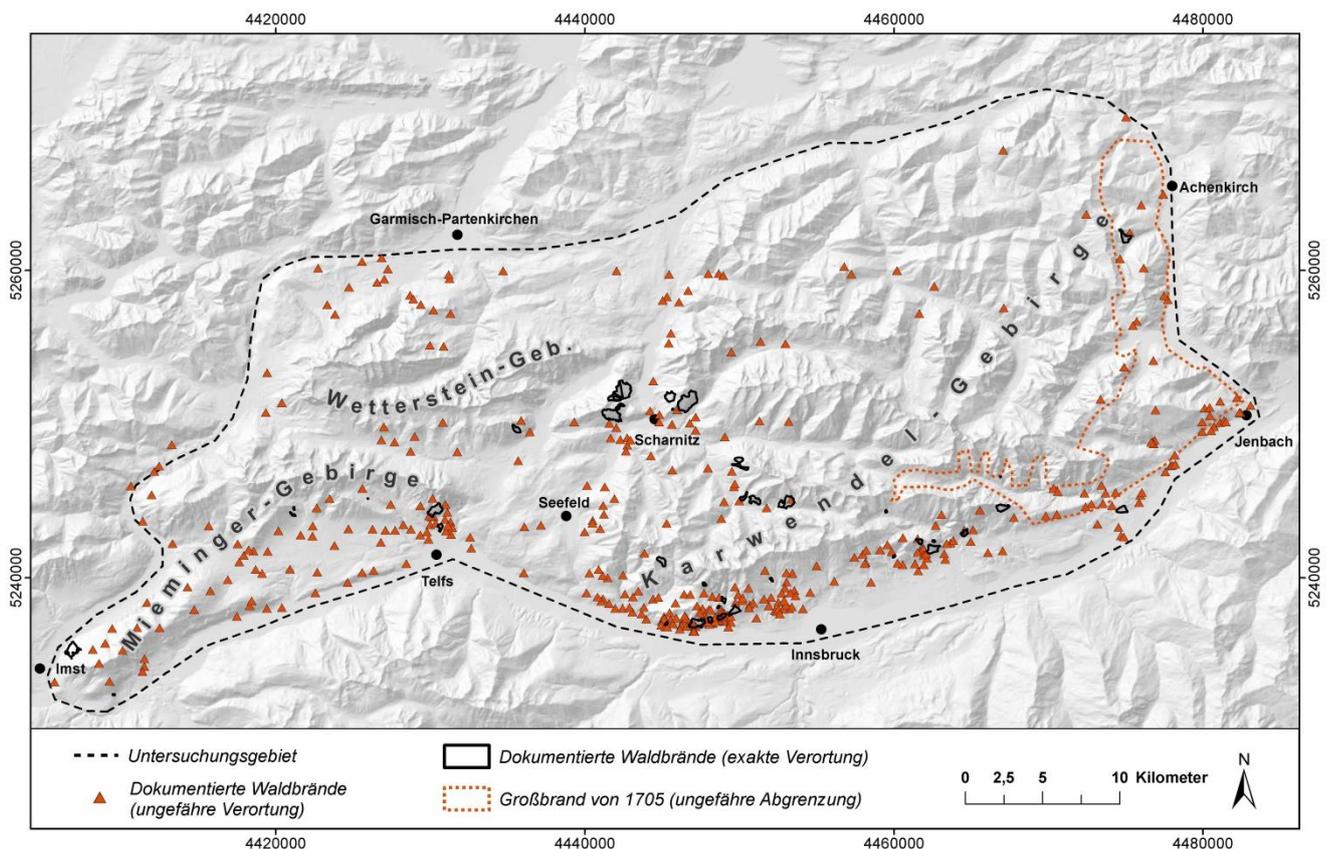


Abb. 2: Untersuchungsgebiet mit der räumlichen Verbreitung der Waldbrandflächen (Heel 2015).

In einem DFG geförderten Forschungsprojekt wurden von 2007 bis 2012 intensive Recherchen in Archiven, Zeitschriften, Luftbildern und Karten (Flurnamen) vorgenommen. Dabei wurden 499 Waldbrandereignisse im Zeitraum von 1543 bis 2010 ermittelt, wobei sich die Brände im Entlang der Innsbrucker Nordkette, des Mieminger Plateaus und im Gebiet um Scharnitz / Mittenwald konzentrieren (Abb. 2). Dabei weist der Hechenberg westlich von Innsbruck mit 71 Bränden auf 13 km² die höchste Feuerfrequenz auf. Insgesamt kann eine Abnahme der Waldbrände nach Norden hin beobachtet werden. Nur 8 % (42) der Ereignisse fanden in Bayern statt, die restlichen Brände (92%, 457) ereigneten sich in Tirol. Über 80 % der Feuer brachen auf Südexpositionen aus. Auffallend ist weiter die Nähe der Brände zu Siedlungen. Der Großteil der Brände (71 %) fand in der siedlungsnäheren montanen Stufe bis 1.300 m statt. Das Höhenintervall bis zur Waldgrenze (1.800 m) war mit 24 % seltener betroffen. Die darüber liegenden Krummholzareale sind an

der Waldbrandhäufigkeit immerhin noch mit 5 % beteiligt.

Die Häufigkeit von Waldbränden ist über den Zeitraum von fast 500 Jahren nicht gleichmäßig verteilt, was sicherlich auch der Quellenlage geschuldet ist. Innerhalb der letzten 200 Jahre kann eine deutliche Zunahme der Brandereignisse festgestellt werden, wobei insbesondere Kriegs- und nachfolgende Mangeljahre mit intensiverer Nutzung der Wälder durch erhöhte Feuerhäufigkeit auffallen. Die Zeit nach dem 2. Weltkrieg bis heute ist durch eine anhaltend hohe Feuertätigkeit wohl auch durch den zunehmenden Tourismus gekennzeichnet. Für das gesamte Untersuchungsgebiet konnte für den historischen Zeitraum ein mittleres Rekurrenzintervall von ca. 170 a ermittelt werden, an dem es auf einer 10 km² Fläche zu einem Feuer kommt. Saisonal treten die meisten Brände im Frühjahr und Sommer auf (Abb. 3), wenn genügend abgestorbenes Pflanzenmaterial als Brennstoff zur Verfügung steht. Bei den Ursachen der Brände ist eine

Abhängigkeit von der Witterung zu erkennen. In trockenen Jahren und insbesondere nach schneearmen Wintern brennt es häufiger. In den meisten Fällen (72 %) sind anthropogene Ursachen für die Entstehung der Waldbrände nachgewiesen, nur ca. 14 % sind auf natürliche Gründe (Blitzschlag) zurückzuführen und bei den restlichen Fällen (14 %) ist die Ursache unklar.

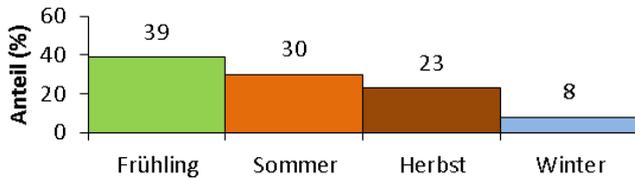


Abb. 3: Jahreszeitliche Verteilung der Waldbrandereignisse im Untersuchungsgebiet (Heel 2015).

Für 219 Brandflächen konnte die Ausdehnung erfasst werden. Ohne die Berücksichtigung der flächengrößten Brände mit bis mehreren 100 ha betroffener Fläche, beträgt die durchschnittliche Waldbrandfläche 9 ha. Eine Ausnahme stellt der Waldbrand von 1705 ein, der am Stupbach am Vomperloch durch die Unachtsamkeit von Hirten entstand und mehrere 1000 ha umfasste. Er breitete sich entlang des Achensees nach Westen und Süden aus. Erst nach Wochen beendeten Regenfälle das Feuer. Noch heute sind die Spuren des Brandes in den Hochlagen im Luftbild zu erkennen.

Für den Raum Scharnitz konnte eine längerfristige Feuerchronologie aufgestellt werden. In 80 cm mächtigen Tangelrendzinen an der Brunnensteinspitze wurden mehrere Lagen mit Holzkohleresten gefunden und datiert. Das Alter der untersten Holzkohlelage in 71 cm Tiefe wurde mit der ¹⁴C-Methode auf ein Alter von 6.305 ± 95 BP datiert. Zusammen mit 12 weiteren Holzkohlelagen im Profil konnte somit in Anlehnung an Conedera et al. (2009) ein lokales Feuerintervall (point mean fire interval, PMFI) von 530 Jahren für das Holozän berechnet werden (Sass et al. 2012). Zusammen mit anderen Holzkohlefindungen auch an der gegenüber liegenden Arnspitze sowie historischen Quellen wurden für den Raum insgesamt mindestens 16 Brände nachgewiesen (Abb. 4). Das lokale Feuerintervall liegt damit in der gleichen Größenordnung wie die von

Stähli et al. (2006) für das Holozän ermittelten Werte von ca. 600 Jahren für die Schweizer Zentralalpen.

Die Auswirkungen der Waldbrände sind von der Art des Feuers und der Feuerintensität abhängig, die ihrerseits von verschiedenen Faktoren bestimmt wird. Bei den Feuerarten werden bodennahes Lauffeuer, Wipfelfeuer, Totalbrand oder Bodenfeuer mit lange andauernden Schwelbränden in organischen Auflagen unterschieden. Die Feuerintensität wird maßgeblich über den Brennstoffvorrat und die meteorologischen Bedingungen (Trockenheit, Windverhältnisse) bestimmt (Conedera et al. 2009). Die längerfristigen Konsequenzen hängen in erster Linie von der Regenerationsfähigkeit des betroffenen Standortes ab. Dabei spielt neben den Reliefverhältnissen - steile Flächen unterliegen stärkerer Erosion - die Höhenlage eine wesentliche Rolle. Aufgrund der kürzer werdenden Vegetationsperiode nimmt die Zeitspanne bis zur Regeneration der Brandschäden mit zunehmender Höhe zu. Besonders problematisch ist das Verbrennen von Bodenmaterial und hier insbesondere des Tangelhumus zu sehen, da nach solchen Bränden oft freiliegende Felsflächen anstehen, die eine Regeneration über lange Zeiträume verhindern. Dieser Umstand wird noch verstärkt, wenn das Einfallen der Gesteine in Hangrichtung verläuft und Lösungsrückstand sofort abgespült wird. Aufgrund der tektonischen Verhältnisse weisen südexponierte Hänge im Untersuchungsgebiet häufig ein süd-wärtiges Schichtfallen auf. Der Südhang der Arnspitze, der 1946 abgebrannt ist, ist ein exponiertes Beispiel für solch eine Situation, auf dem auch fast 70 Jahre nach dem Brand kaum Anzeichen einer Wiederbegrünung festzustellen sind. Der ein Jahr später abgebrannte Osthang der Arnspitze mit ausbeißenden Schichtköpfen und einer dadurch bedingten guten Strukturierung des Hanges mit lokalen Sedimentfallen, zeigt heute ein gänzlich anderes Bild. Er ist mit einem lückigen Lärchenwald bestockt, der z.T. durch Aufforstung in den Jahren nach dem Feuer aufwachsen konnte. Die südexponierte Brandfläche ist dagegen bis heute durch intensive geomorphodynamische Prozessen (Steinschlag, Lawinen,

Abspülung) gekennzeichnet und bietet für Auf- forstungsmaßnahmen überhaupt keine Stand- orte.

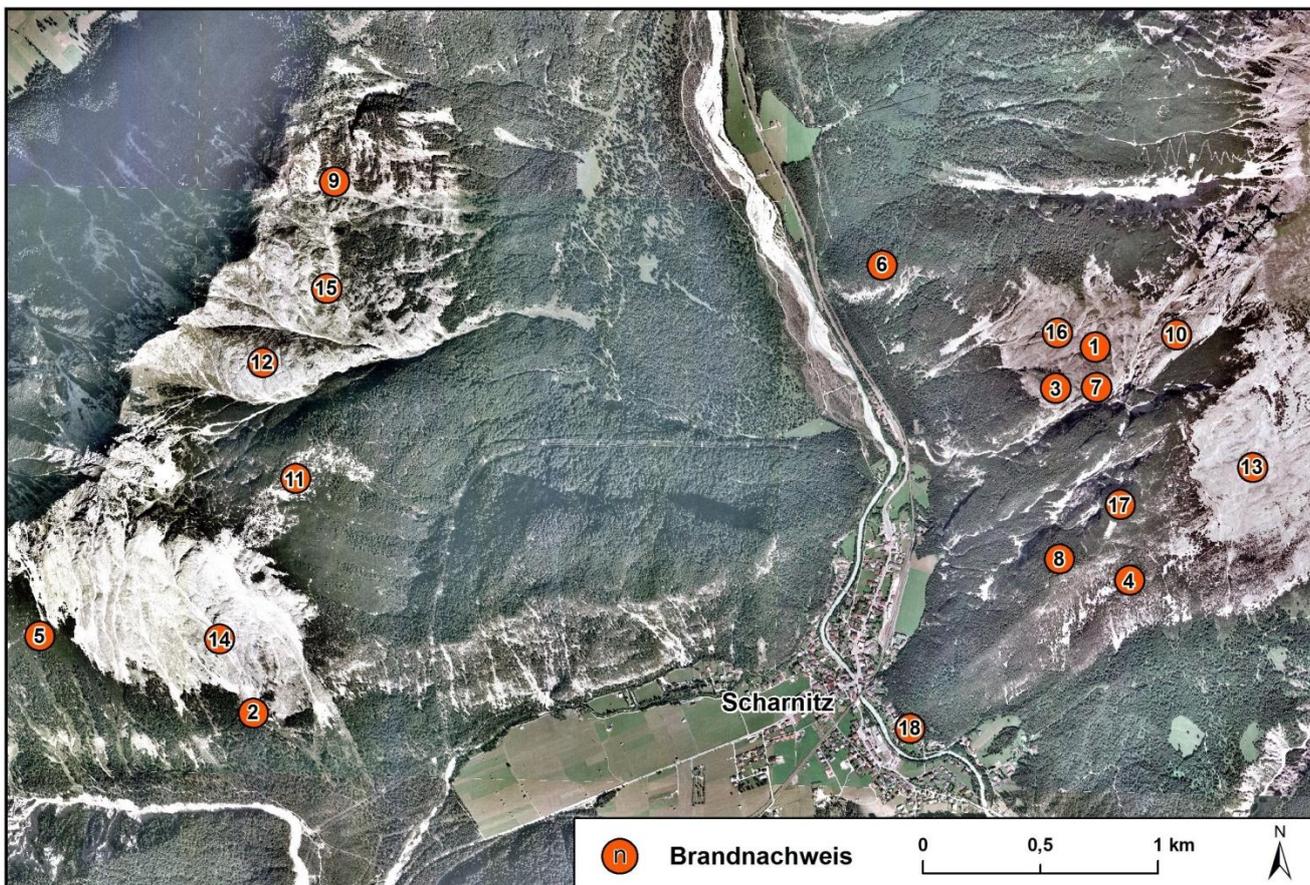


Abb. 4: Verortung der einzelnen Brandnachweise im Raum Scharnitz (HEEL 2015).

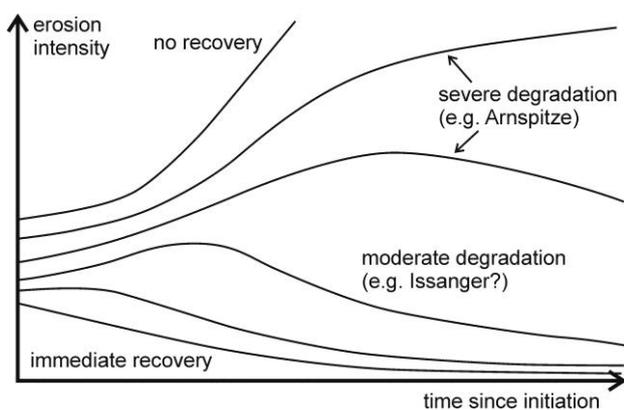


Abb. 5.: Zeitliche Verläufe von Erosionsintensität und Wiederbewaldung als Folge unterschiedlicher Schädigung durch Feuer (Sass et al. 2012).

Untersuchungen von Sass et al. (2012) an über 50 Brandhängen haben ergeben, dass die Regeneration von Waldbrandnarben je nach Grad der Schädigung durch den Brand in einem Zeitfenster von etwa 50 bis 500 Jahren erfolgt. Dazu wird ein Schema vorgestellt, das

die verschiedenen Möglichkeiten der Erholung der Brandflächen modellhaft darstellt (Abb. 5). In den Hochlagen ist nach diesen Untersuchungen davon auszugehen, dass die vergleichsweise weite Verbreitung des Krummholzes auch auf den Einfluss von Waldbränden zurückzuführen ist. An weitgehend vom Feuer unbeeinflussten Standorten kann ein Aufkommen von Lärchen und Föhrenwäldern beobachtet werden, die das Krummholz langfristig verdrängen. Ähnliche Ergebnisse wurden von Stähli et al. (2006) für die zentralen Schweizer Alpen vorgelegt. Der Einfluss von Bränden auf die Bodenentwicklung ist zeitlich kaum abzuschätzen, da für die Bodenbildung ganz andere Zeitskalen gelten als für die Vegetation. Festzuhalten bleibt hier, dass Waldbrände unbedingt bei der Interpretation von Böden in alpinen Lagen berücksichtigt werden müssen, denn sie können sowohl das Entwicklungsstadium als auch die Bodenmächtigkeit maßgeblich beeinflussen.

Bodenmuster in den Hochlagen des Karwendelgebirges

Das Exkursionsgebiet liegt im Gebiet der Vorderen Karwendelkette zwischen der Bergstation der Karwendelbahn und der Dammkarhütte. Dieses Gebiet liegt genau im Bereich der tektonischen Grenze von Lechtal- und Inntaldecke (Abb. 6). Die Geologie ist geprägt von der komplexen Tektonik, an der der Wettersteinkalk der Lechtaldecke sowie die Reichenhaller Schichten, der Alpine Muschelkalk und

der Wettersteinkalk der Inntaldecke beteiligt sind (Jerz & Ulrich 1966). Dabei erfolgen Gesteinswechsel auf kurzer Distanz und sind im Gelände teils gut erkennbar. Die Reichenhaller Schichten bestehen aus Kalken und Dolomiten, die teilweise als Breccien auftreten. Der silikatische Lösungsrückstand dieser Breccien beträgt im Mittel ca. 12 % (Schlott 1997), während die recht reinen grauen Kalke eine ähnlich Zusammensetzung wie Alpiner Muschelkalk und Wettersteinkalk mit deutlich geringerem Lösungsrückstand aufweisen.

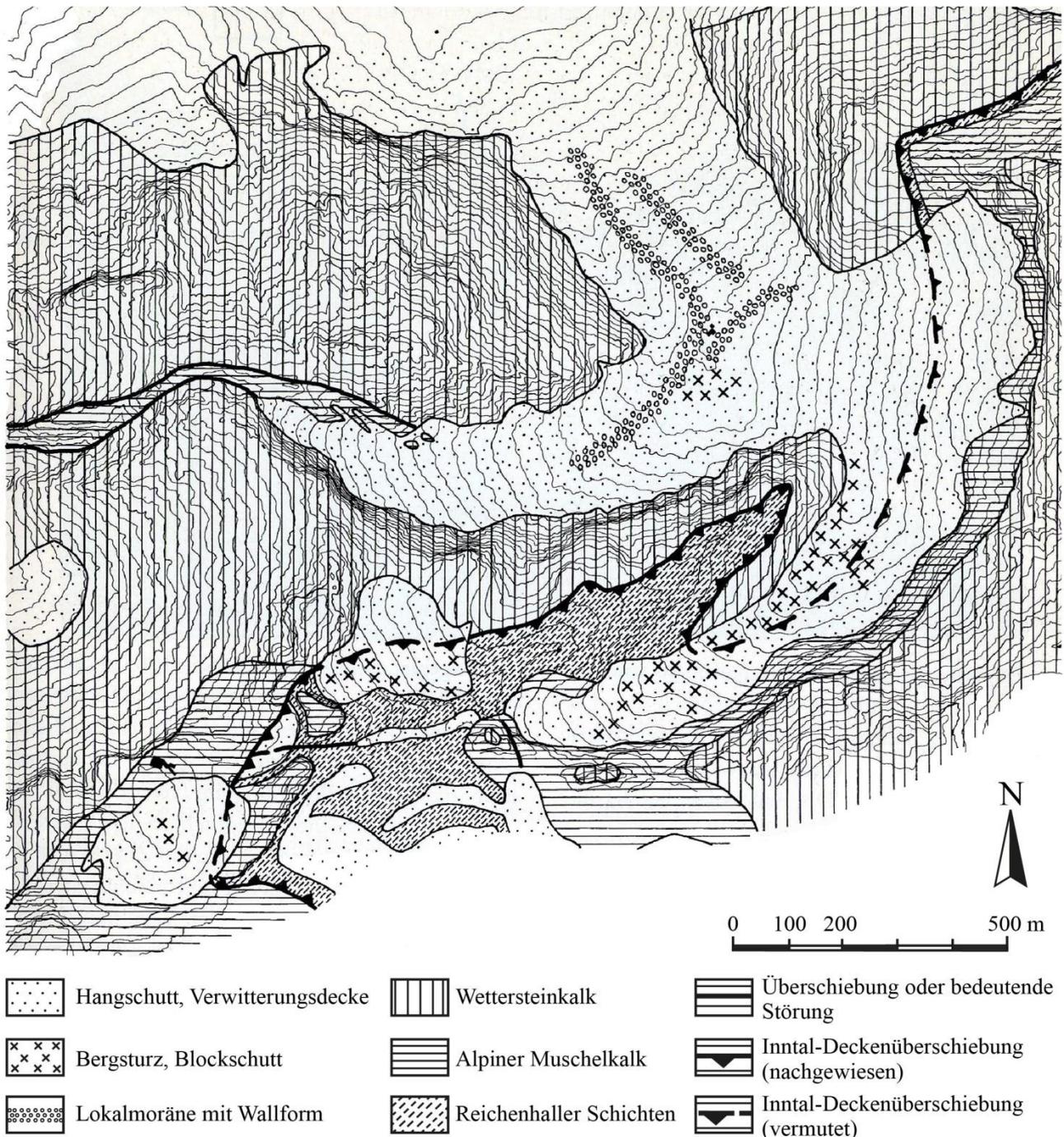


Abb. 6: Die geologischen Verhältnisse im Bereich des Dammkares im Karwendelgebirge (Jerz & Ulrich 1966).

Neben den petrographischen Verhältnissen haben geomorphologische Prozesse im Gebiet einen starken Einfluss auf die Bodenentwicklung. Steile Lagen sind meistens frei von Böden aufgrund von Abspülungsprozessen und gravitativ bedingten Bewegungen. Hangfußbereiche sind dagegen von Schutthalden unterschiedlicher Körnung gekennzeichnet. Die Korngröße richtet sich dabei nach den Gesteinsverhältnissen und der tektonischen Beanspruchung. Massige Gesteine wie der Wettersteinkalk zeigen oft grobblockige Halden, in Bereichen mit intensiven tektonischen Einflüssen können feinkörnigere Ablagerungen entstehen. Auch kann die geomorphologische Aktivität auf Schutthalden auf kurzer Distanz variieren, da sie von der Intensität der Prozesse im Einzugsgebiet wie Steinschlag- und Lawinentätigkeit abhängt. Die Bodenentwicklung auf grobem Material beschränkt sich zu meist auf Initialstadien, während auf feinkörnigem Schutt neben Protorendzinen auch Tangel- und Polsterrendzinen sowie Mullrendzinen an N-exponierten Standorten der Karwendelgrube mit deutlichem Glimmeranteil im Solum verbreitet sind. Auf einigen Standorten können verbrauchte Rendzinen und Braunerde-Rendzinen gefunden werden, die zumeist an die Breccien der Reichenhaller Schichten gebunden sind.

Äolische Einträge silikatischer Komponenten führen zu einer weiteren Bodendifferenzierung in den Hochlagen. So treten auch flach- bis mittelgründige, stark glimmerführende Braunerden mit bis über 60 cm mächtigen Profilen auf, die direkt über Muschelkalkschutt oder anstehendem Muschelkalk entwickelt sind (Küfmann 2008). Einsetzende Tonverlagerung hat vor allem bei Standorten direkt auf Anstehendem zu Wasserstau und Pseudovergleyung geführt. Die pH-Werte sind nach Untersuchungen von Küfmann (2008) vor allem bei den tiefgründigen Standorten mit hohen Glimmeranteilen im B-Horizont niedrig (pH 3,9 bis 4,3). Korngrößenanalysen und mineralogische Untersuchungen verdeutlichen die äolische Herkunft des silikatischen Materials und deuten vor allem auf die Sahara als Liefergebiet. Die in älterer Literatur zu findenden Angaben über die Zentralalpen als Liefergebiet der

Staubeinträge können nach Küfmann (2008) zumindest in dieser Ausschließlichkeit nicht aufrecht gehalten werden.

Literatur

- Bendel, M., Tinner, W., Ammann, B. (2006): Forest dynamics in the Pfyn forest in recent centuries (Valais, Switzerland, Central Alps): interaction of pine (*Pinus sylvestris*) and oak (*Quercus* sp.) under changing landuse and fire frequency. *The Holocene* 16: 81-89.
- Berli, S., Cherubini, P., Schoch, W. (1994): Rekonstruktion von Bestandesfluktuationen, Bodenmächtigkeit und Feuergeschichte über 7000 Jahre BP mittels Holzkohle-Analysen. *Botanica Helvetica* 104: 17-30.
- Carcaillet, C. (1998): A spatially precise study of Holocene fire history, climate and human impact in the Maurienne valley, North French Alps. *J. Ecol.* 86: 384-396.
- Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A.F., Krebs, P. (2009): Reconstructing pastfire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. *Quaternary Science Reviews* 28: 435-456.
- Duffy, L. (2011): Mikroreliefbedingte Raummuster von Böden, äolischen Substraten und Flugstäuben im Hochgebirgskarst der Nördlichen Kalkalpen (Reiteralpe, Berchtesgadener Alpen). Diss., LMU, München, 195 S.
- Ellenberg, H., Leuschner, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 6. Auflage. Stuttgart, 1333 S.
- Gimmi, U., Bürgi, M., Wohlgemuth, T. (2004): Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert? *Schweizerische Z. Forstwesen* 15: 437-440.
- Grabherr, W. (1934): Der Einfluß des Feuers auf die Wälder Tirols. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 60: 289-302.
- Grabherr, W. (1936): Die Dynamik der Brandflächenvegetation auf Kalk- und Dolomitböden im Karwendelgebirge. Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Band LV, Abteilung B, 1/2, 97 S.
- Grabherr, W. (1963): Der größte Waldbrand Nordtirols von Georgenberg bis zum Hähnerbach im hinteren Achenal im Spätherbst 1705. *Tiroler Heimatblätter* 38 (7/9): 25-27.
- Heel, M. (2015): Waldbrände in den Nördlichen Kalkalpen - raumzeitliche Verteilung und Beispiele lokaler Auswirkungen. Diss., Uni Augsburg, 249 S.
- Jerz, H., Ulrich, R. (1966): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 8533/8633 Mittenwald. Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 152 S.
- Küfmann, C. (2003): Soil types and eolian dust in high mountainous karst of the Northern Calcareous Alps (Zugspitzplatt, Wetterstein Mountains, Germany). –

- In: *Catena*, 53, 211-227.
- Küfmann, C. (2008): Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen. *Forschungsberichte des Nationalparks Berchtesgaden* 54: 159 S.
- Müller-Westermeier, G. (1996): Klimadaten von Deutschland – Zeitraum 1961–1990. Offenbach.
- Sass, O., Heel, M., Leistner, I., Stoeger, F., Wetzel, K.-F., Friedmann, A. (2012): Disturbance, geomorphic processes and regeneration of wildfire slopes in North Tyrol. *Earth Surface Processes Landforms* 37: 883-894.
- Schlott, P. (1997): Die Böden der subalpinen und alpinen Stufe im Bereich des Dammkars bei Mittenwald und ihr Beitrag zur Verwitterung. Dipl. Arbeit, LMU, unveröff.
- Stähli, M., Finsinger, W., Tinner, W., Allgöwer, B. (2006): Wildfire history and fire ecology of the Swiss National Park (Central Alps): new evidence from charcoal, pollen and plant macrofossils. *The Holocene* 16: 805-817.
- Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Gaggeler, H.W., Gedye, S., Jones, R., Sagesser, B. (1998): Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920. *The Holocene* 8: 31-42.
- Tinner, W., Hubschmid, P., Wehrli, M., Amman, B., Conedera, M. (1999): Long-term Forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *J. Ecol.* 87: 273-289.
- Tinner, W., Allgöwer, B., Ammann, B., Conedera, M., Gobet, E., Lotter, A.F., Stähli, M. (2005): Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende. *Schweizerische Z. Forstwesen* 156: 325-330.
- Tollmann, A. (1985): *Geologie von Österreich. Band 2*, Wien, 710 S.
- Walter, H., Lieth, H. (1964): *Klimadiagramm-Weltatlas*. - Jena.

D-03: Böden und Landschaft auf tertiären Sedimenten der Schwäbischen Alb und Oberschwabens zwischen Ulm und Riedlingen

Peter Schad¹, Ludger Herrmann²

¹ Lehrstuhl für Bodenkunde, Technische Universität München, Emil-Ramann-Str. 2, 85354 Freising-Weihenstephan

² Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim, Emil-Wolff-Str. 27, 70593 Stuttgart

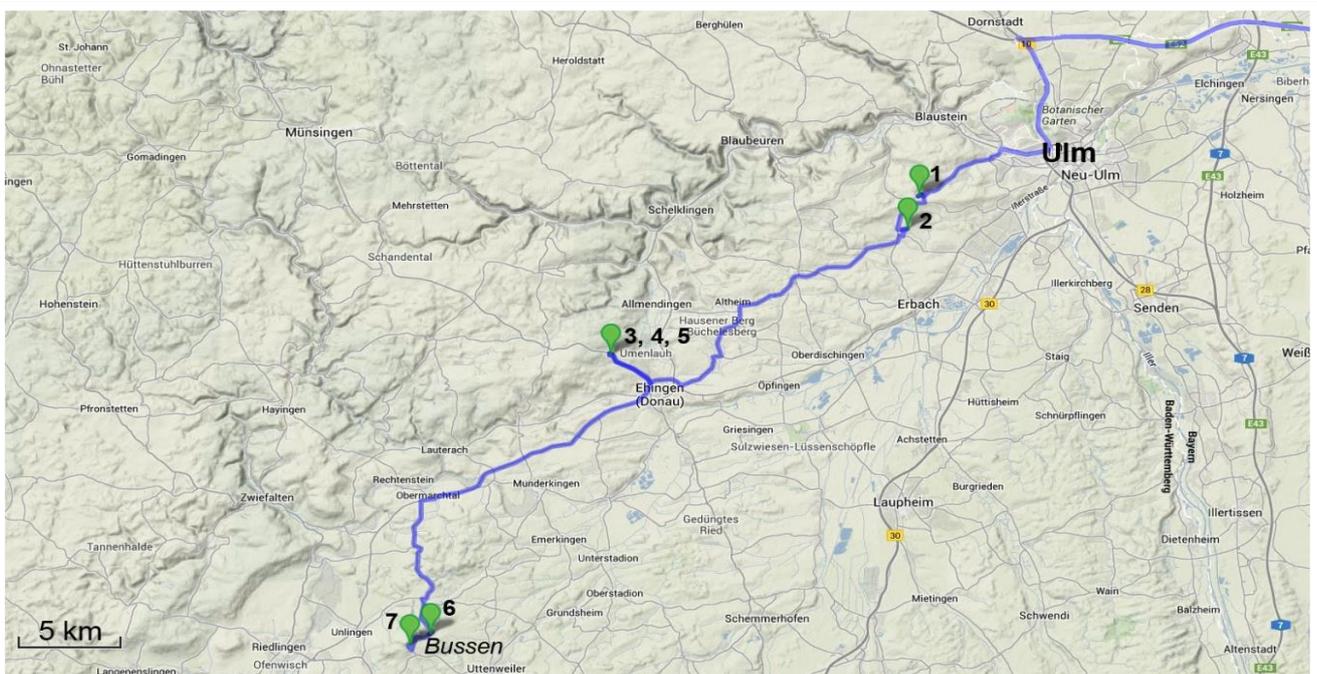


Abb. 1: Exkursionsroute

Das Molassebecken in Südwestdeutschland

Das Tertiär (ca. 66 – 2,6 Mio. Jahre BP), aufgeteilt in Paläogen (66 – 23 Mio.) und Neogen (23 – 2,6 Mio.), war eine geologisch aktive Zeit in Süddeutschland. Die Auffaltung der Alpen und die Entstehung und Verfüllung des ihnen nördlich vorgelagerten Molassebeckens sind die prägenden Ereignisse des Tertiärs im südöstlichen Baden-Württemberg (Abb. 2). Die Sedimentation im Molassebecken fand teils unter Meeres-, teils unter Süßwasserbedingungen statt. Die Stratifizierung ist in Tab. 1 wiedergegeben. Die Exkursion bewegt sich in den Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse, der Brackwassermolasse, der Graupensande und der Oberen Meeresmolasse.

Tab. 1: Stratigraphische Übersicht über die tertiäre Molasse in Oberschwaben (vereinfacht nach Geyer und Gwinner 1991)

Neogen	Pliozän		Donauschotter
	Oberes	Miozän	Obere Süßwassermolasse (OSM)
	Mittleres		
	Unteres		Obere Meeresmolasse (OMM)
Paläogen	Oberes	Oligozän	Untere Süßwassermolasse (USM)
	Mittleres		Untere Meeresmolasse (UMM)
	Unteres		

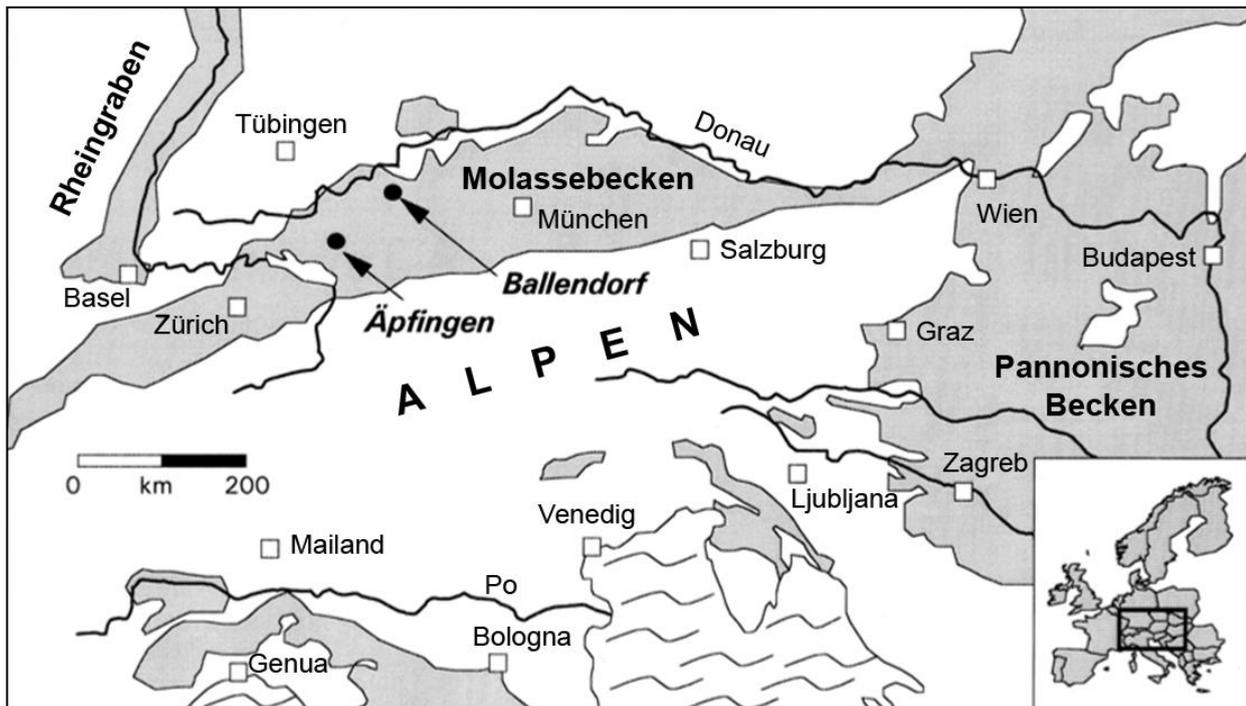


Abb. 2: Ausdehnung des Molassebeckens in Süddeutschland (Vennemann und Hegner, 1998)

Labormethoden

Es wurden überwiegend Standardmethoden eingesetzt. Besonders zu erwähnen sind:

KAK: nach Mehlich mit BaCl_2 -Triethanolamin.

verfügbare Nährstoffe: mit Calcium-Acetat-Laktat.

verwitterbare Nährstoffe: nach Zerstörung der organischen Substanz im Muffelofen Extraktion mit kochender 30%-iger HCl.

Abkürzungen

Variablen: k Wasserleitfähigkeit, GPV Gesamtporenvolumen, LK Luftkapazität, nWSK nutzbare Wasserspeicherkapazität, TW Totwasser, KAK Kationenaustauschkapazität, BS Basensättigung, WL Wechsellagerungsminerale, Sm Smectit, Verm Vermiculit, Chl Chlorit

Indices: la Calcium-Acetat-Laktat, d Dithionit, o Oxalat, p Pyrophosphat, s gesättigt, t total, org organisch, anorg anorganisch, w verwitterbar.

Exkursionspunkt 1: Erminger Turritellenplatte

Die Erminger Turritellenplatte ist eine Strandablagerung der Oberen Meeresmolasse mit einer Massenanhäufung fossiler Gehäuse der Turmschnecke *Turritella turris* sowie weiterer Fossilien. Die Fossilien sind mit Quarzkörnern und Kalkbröckchen durch eine carbonatische Matrix zu einer Platte verfestigt (Abb. 3 links). Sie ist etwa 6 m dick und nur weniger Hundert Meter lang und breit.

Die Erminger Turritellenplatte ist heute als Geotop geschützt, doch wurde sie früher als Baumaterial benutzt (Abb. 3 rechts).



Abb 3: links: Handstück der Erminger Turritellenplatte, dicht gepackt mit Turmschnecken der Art Turritella turris (hier bis 60 mm lang), rechts: Turritellenkalk als Baumaterial in Harthausen (aus: <http://www.molasse.net/et/>)

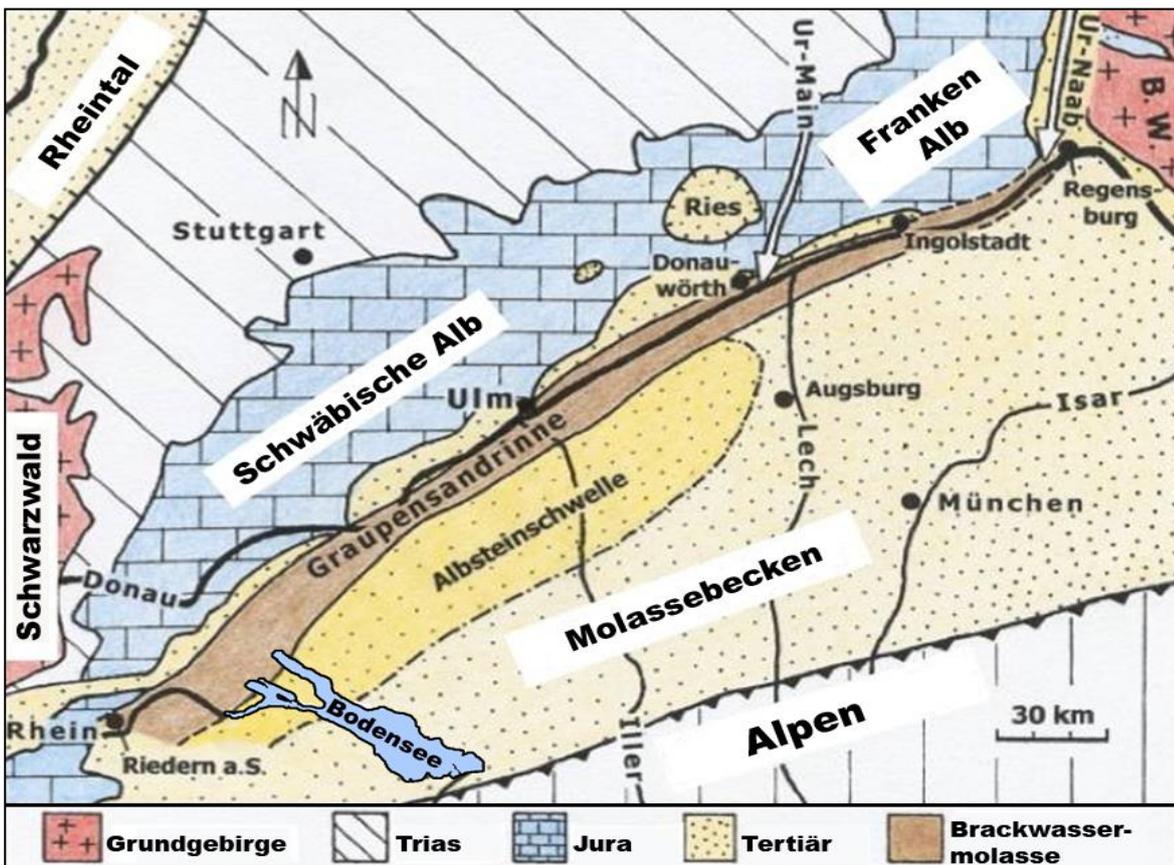


Abb. 4: Lage der Graupensandrinne (Sach, 2013)

Exkursionspunkt 2: Kiesgrube Eggingen

Graupensande sind sandige Ablagerungen des Unteren bis Mittleren Miozän mit einem hohen

Anteil an Feinkies. Die Graupensande bilden eine Rinne, die sich auf etwa 200 km Länge

vom Hegau bis Ingolstadt erstreckt und 6 – 10 km breit und 40 – 100 m mächtig ist. Die Graupensandrinne tieft sich in die Obere Meeressmolasse und teils auch in die Untere Süßwassermolasse ein (Abb. 4 und 5), die hier

nach Rückzug des Meeres offensichtlich wieder entfernt wurden. Als Ablagerungszeit für die Graupensande wird der Übergang von Oberer Meeressmolasse zu Oberer Süßwassermolasse angesetzt.

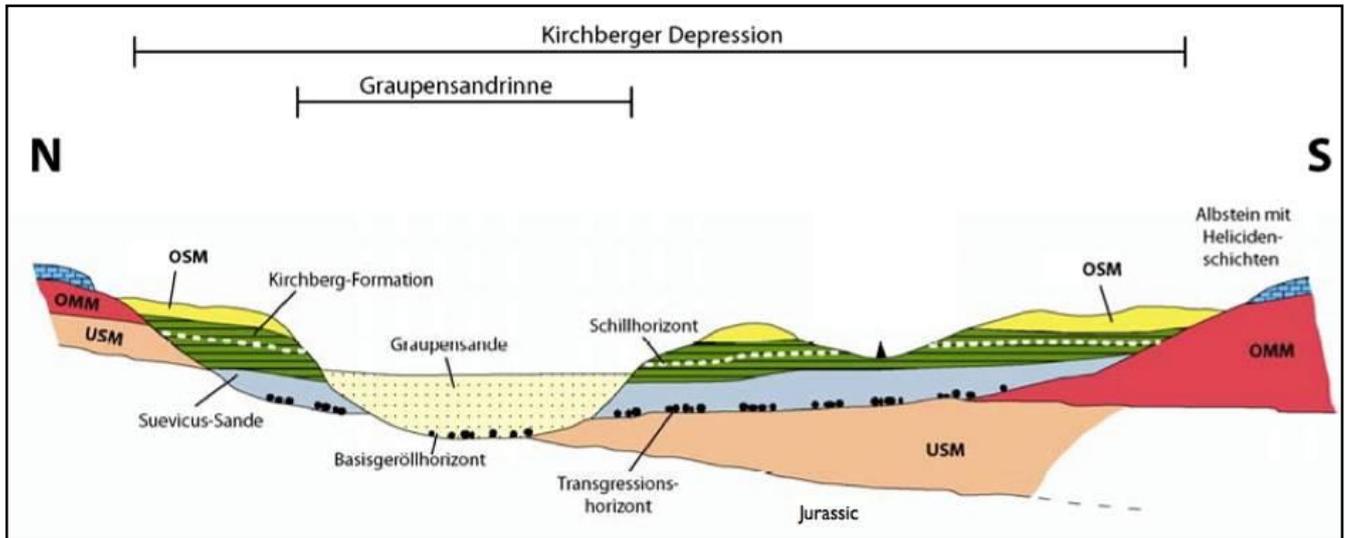


Abb. 5: Schnitt durch die "Graupensandrinne" und benacharte tertiäre Lagen (Buchner, 1998, in Maurer, 2006)

Egginger Kiesgrube

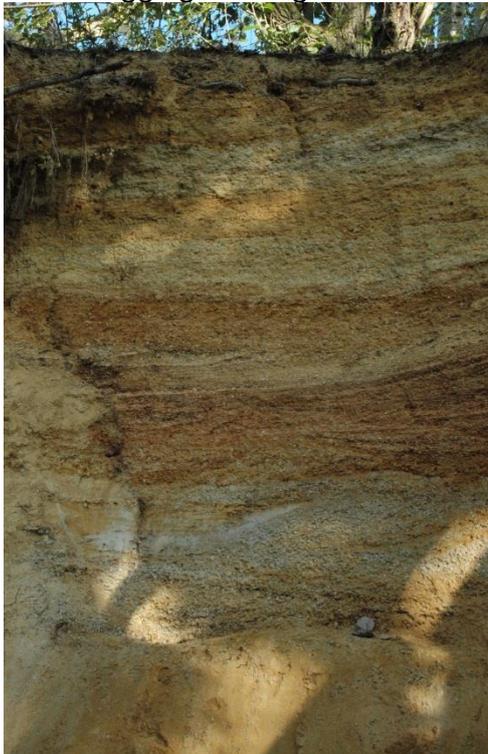


Foto: P. Schad

Profil Jägerhof I



Foto: P. Schad

Profil Jägerhof II

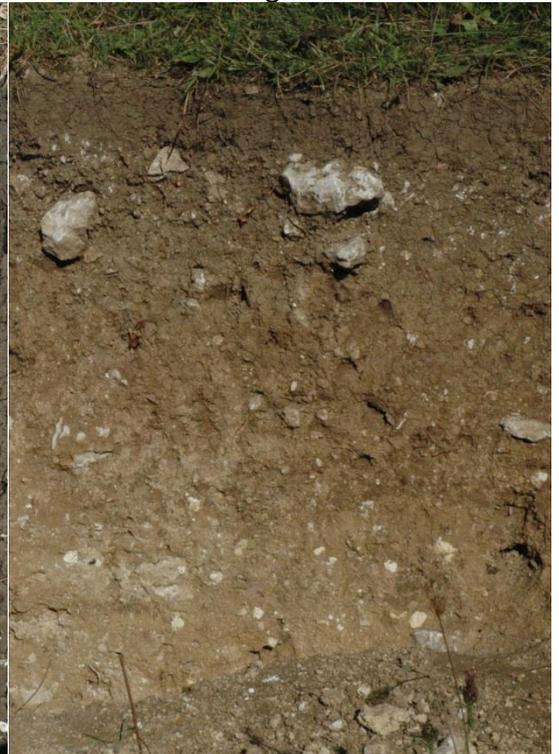


Foto: P. Schad

Abb. 6: Profilaufnahmen der ersten drei Exkursionsprofile

Profil Jägerhof III



Foto: P. Schad

Profil Aderzhofen



Foto: P. Schad

Profil Bussen



Foto: L. Herrmann

Abb. 7: Profilaufnahmen der letzten drei Exkursionsprofile

Kurzcharakteristik Egginger Kiesgrube

Koordinaten: 48°21'49.8"N 9°53'31.2"E

Meereshöhe: 530 m

Exposition: S

Hangneigung: eben

Vegetation: Ruderalflur

Ausgangsgestein: vielfach geschichtete

Graupensande

KA5: reliktsch vergleyter Braunerde-Regosol

WRB (2014): Dystric Fluvisol (Pantoarenic,

Ochric, Bathypetrogleyic)

Kenndaten des oberen Profilabschnitts in der Egginger Kiesgrube

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	pH CaCl ₂	Fe _d g/kg	Skelett Vol.-%	Bemerkungen
0 - 3	Ah					
3 - 16	Bv-ilCv1	10YR 5/6	3,7	8,4	40	
16 - 35	Bv-ilCv2	7.5YR 5/6	3,8	9,4	37	mit Fe-Bändern
35 - 90	ilCv	10YR 5/6	4,0	8,3	36	durchwurzelt bis 90 cm
90 - 136	IIBv	7.5YR 5/6	4,4	12,4	48	
136 - 152	IIIfGmso	7.5YR 5/6	5,0	12,4	55	verfestigt
152 - 159	IVfGr	2.5Y 8/2	3,9	4,0	7	
159 - 170	VilCv	2.5Y 6/6	4,5	4,3	54	viel Feinkies (Graupen)

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 3											
3 - 16	22	34	24	80	3	4	4	11	8	SI2	loamy sand
16 - 35	26	34	23	83	2	4	4	10	8	St2	loamy sand
35 - 90	27	31	23	81	3	4	4	11	7	SI2	loamy sand
90 - 136	47	30	10	87	3	3	3	9	5	Ss	sand
136 - 152	38	22	23	83	3	4	4	11	5	Su2	loamy sand
152 - 159	2	5	68	75	7	8	5	20	6	SI2	sandy loam
159 - 170	28	16	36	80	4	5	5	14	6	SI2	loamy sand

Kommentar

Die feine Stratifizierung (Abb. 6) belegt, dass die Ablagerungen im Unteren Miozän unter fluviatilen, marinen oder lakustrinen Bedingungen erfolgt sind. Wahrscheinlich ist dabei auch verwittertes Material mit erheblichen Anteilen an oxidischem Eisen deponiert worden. Die hohen Skelett- und niedrigen Tongehalte ver-

weisen auf eine nur geringe Verwitterung in situ und führen zu der Annahme, dass das Material erst vor relativ kurzer Zeit durch Erosion freigelegt worden ist. Im Unterboden ist eine reliktsche Vergleyung zu verzeichnen, teils sogar mit lateritähnlichem Raseneisenerz.

Exkursionspunkt 3: Jägerhof I

Kurzcharakteristik

Koordinaten: 48°17'56.3"N 9°41'5.1"E

Meereshöhe: 610 m

Exposition: SSE

Hangneigung: 3°

Vegetation: Grünland

Ausgangsgestein: Kolluvium aus Mergeln der Oberen Süßwassermolasse

KA5: Humuspelosol

WRB (2014): Cambic Phaeozem (Aric, Pantoclayic, Colluvic, Protovertic, Bathycalcaric)

Kenndaten des Profils Jägerhof I

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	Gefüge	Skelett Vol.-%	Lagerungsdichte kg/dm ³
0 - 20	Ap	10YR 3/2	kru, sub	1	0,96
20 - 46	P-Ah	10YR 3/2	sub, pol	3	1,15
46 - 70	P1	10YR 4/3	pol	15	1,25
70 - 94	P2	10YR 4/3	pol	5	1,26
>94	elCv-P	10YR 4/3	pol	50	1,18

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 20	0	1	8	9	13	15	10	38	53	Tu2	clay
20 - 46	0	1	8	9	15	14	10	39	52	Tu2	clay
46 - 70	0	1	7	8	14	14	10	38	54	Tu2	clay
70 - 94	0	1	8	9	14	15	10	39	52	Tu2	clay
>94	1	2	8	11	13	15	9	37	52	Tu2	clay

Tiefe cm	C _t %	C _{org} %	C _{anorg} %	CaCO ₃ äqu. %	N _t %	C/N	k _s cm/d	GPV	LK	nWSK Vol. %	TW
0 - 20	4,9	4,7	0,2	1,8	0,53	8,8	918	62	13	29	20
20 - 46	2,7	2,6	0,1	0,8	0,33	7,8	589	53	9	28	16
46 - 70	1,8	1,7	0,1	0,9	0,21	8,0	812	51	9	29	13
70 - 94	2,0	1,7	0,2	1,8	0,23	7,4	223	52	8	29	15
>94	2,7	2,2	0,5	4,2	0,27	8,1		51	10	28	13

Tiefe cm	pH CaCl ₂	KAK pot.	KAK eff.	austauschbare Kationen					BS %	verfügbar	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺		K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
0 - 20	6,9	333		314	15	2	2		100	71	80
20 - 46	6,9	280		269	8	2	1		100	55	23
46 - 70	7,1	261		250	7	3	1		100	65	16
70 - 94	7,3	263		252	7	3	1		100	59	6
>94	7,4	263		253	7	2	1		100	55	5

Tiefe cm	Fe _t g/kg	Fe _d g/kg	Fe _o g/kg	Fe _p g/kg	Fe _{d/t}	Fe _{o/d}	Al _d g/kg	Al _o g/kg	Al _p g/kg	Mn _d g/kg	Mn _o g/kg
0 - 20		12,9	4,1			0,32	1,3	0,8		0,87	0,80
20 - 46		13,5	4,0			0,29	1,4	1,8		0,90	0,78
46 - 70		16,7	4,0			0,24	1,7	1,9		0,83	0,72
70 - 94		18,7	4,2			0,23	1,8	2,1		0,79	0,69
>94		17,3	4,2			0,24	1,5	2,3		0,63	0,51

Tiefe cm	Tonmineralfraktion <2 µm (%)						Tiefe cm	Tonmineralfraktion <2 µm (%)					
	Kao	Illit	WL	Sm	Verm	Chl		Kao	Illit	WL	Sm	Verm	Chl
0 - 20	8	11	16	37	28	Spuren	70 - 94	9	12	21	35	23	Spuren
20 - 46	8	12	18	36	28	Spuren	>94	8	11	19	39	23	Spuren
46 - 70	9	12	21	31	27	Spuren							

Kommentar

Die hohen Humusgehalte bis in große Tiefen sowie die Beimischungen von Holzkohle und Ziegelresten deuten darauf hin, dass dieser

Boden aus kolluvialen Ablagerungen entstanden ist. Die nachfolgend abgelaufene Peloturbation und Gefügebildung führte dann weiter zur Ausbildung eines Pelosols.

Exkursionspunkt 4: Jägerhof II

Kurzcharakteristik

Koordinaten: 48°18'4.6"N, 9°40'53.3"E

Meereshöhe: 655 m

Exposition: SSE

Hangneigung: 4°

Vegetation: Wacholderheide mit Kiefern

Ausgangsgestein: Kalke der Oberen

Süßwassermolasse; Lössbeimischung im

Oberboden denkbar

KA5: Braunerde-Rendzina

WRB (2014): Calcaric Endoskeletal Cambisol
(Geoabruptic, Pantoclayic, Humic)

Kenndaten des Profils Jägerhof II

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	Gefüge	Skelett Vol.-%	Lagerungsdichte kg/dm ³
0 - 10	Ah	10YR 3/3	kru	1	0,95
10 - 35	Bv-Ah	10YR 4/4	kru, sub	3	1,27
35 - 60	Bv+clCv	10YR 6/4 10YR 5/4	sub	15	1,26
>60	llclCv	10YR 7/3	sub, pol	50	

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 10	2	2	4	8	14	19	11	44	48	Tu2	silty clay
10 - 35	0	1	4	5	17	20	11	48	47	Tu2	silty clay
35 - 60	0	2	5	7	13	13	14	40	53	Tu2	silty clay
>60	0	1	3	4	2	8	13	23	73	Tt	clay

Tiefe cm	C _t %	C _{org} %	C _{anorg} %	CaCO ₃ äqu. %	N _t %	C/N	k _s cm/d	GPV	LK ----- Vol. % -----	nWSK	TW
0 - 10	9,5	4,9	4,6	38,3	0,46	10,6	2,0	61	18	19	24
10 - 35	6,0	1,2	4,8	40,1	0,20	6,1		50	16	19	15
35 - 60	7,5	n.n.	7,5	62,2	0,10		2,2	49	19	15	15
>60	10,0	n.n.	10,0	83,4	0,03						

n.n.: nicht nachweisbar

Tiefe cm	pH CaCl ₂	KAK pot.	KAK eff.	austauschbare Kationen					BS %	verfügbar	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺⁺ +Al ³⁺		K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
0 - 10	7,4	237		228	6	3	0		100	75	16
10 - 35	7,5	170		166	3	1	0		100	37	6
35 - 60	7,6	121		118	2	1	0		100	31	6
>60	7,6	68		66	1	1	0		100	37	14

Tiefe cm	Fe _t g/kg	Fe _d g/kg	Fe _o g/kg	Fe _p g/kg	Fe _{d/t}	Fe _{o/d}	Al _d g/kg	Al _o g/kg	Al _p g/kg	Mn _d g/kg	Mn _o g/kg
0 - 10		8,1	1,0			0,12	0,84	1,00		0,30	0,16
10 - 35		9,4	1,2			0,13	0,93	1,15		0,36	0,22
35 - 60		7,3	0,6			0,08	0,66	0,68		0,20	0,11
>60		2,4	0,3			0,11	0,20	0,18		0,03	0,02

Tiefe cm	Tonmineralfraktion <2µm (%)					
	Kao	Illit	WL	Sm	Verm	Chl
0 - 10	6	11	17	48	14	4
10 - 35	7	10	16	46	21	0
35 - 60	6	9	15	60	10	0
>60	2	8	18	65	7	0

Kommentar

Ab 60 cm Tiefe stehen gering verwitterte Kalke der Oberen Süßwassermolasse an. Darüber sind die Carbonatlösung und die Anreicherung von braunem Carbonatlösungsrückstand weiter fortgeschritten. Denkbar sind auch ein carbo-

natürmeres Ausgangsgestein oder eine kollu-

viale Beimengung im Oberboden.

Exkursionspunkt 5: Jägerhof III

Kurzcharakteristik

Koordinaten: 48°18'19.4"N 9°40'43.4"E

Meereshöhe: 638 m

Exposition: E

Hangneigung: 4°

Vegetation: Nadelwald

Ausgangsgestein: Hangschutt der Oberen Süßwassermolasse

KA5: (Quellen)Kalkgley

WRB (2014): Calcic Gleysol (Humic, Inclinic, Endoloamic, Ruptic, Uterquic, Thaptomollic)

Kenndaten des Profils Jägerhof III

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	Gefüge	Skelett Vol.-%	Lagerungsdichte kg/dm ³
0 - 7	Ach1	10YR 3/3	kru	0	0,74
7 - 19	Ach2	10YR 3/4	sub	0	0,77
19 - 38	IIqGco	10YR 5/4, Rostflecken, Reduktionszonen	pol	1	0,96
38 - 53	III fAh°qGcr1	10YR 5/2, Rostflecken	sub	2	1,16
53 - 88	IV fAh°qGcr2	10YR 3/1 Rostflecken	sub	2	0,96
>88	qGcr	Reduktionsfarben		3	

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 7	0	2	5	7	8	18	17	43	50	Tu2	silty clay
7 - 19	0	2	5	7	10	17	16	43	50	Tu2	silty clay
19 - 38	0	7	18	25	17	14	11	42	33	Lt2	clay loam
38 - 53	0	1	4	5	9	17	18	44	51	Tu2	silty clay
53 - 88	0	5	11	16	16	18	12	46	38	Lt3	silty clay loam
>88	0	7	18	25	17	14	11	42	33	Lt3	clay loam

Tiefe cm	Ct %	Corg %	Canor g %	CaCO ₃ äqu. %	Nt %	C/N	k _s cm/d	GPV	LK ----- Vol. % -----	nWSK	TW
0 - 7	10,4	8,8	1,6	13,2	0,74	11,8	60	76	11	32	33
7 - 19	7,5	5,4	2,1	17,3	0,56	9,6	79	70	10	29	31
19 - 38	5,0	1,8	3,2	26,8	0,34	5,3	277	66	6	27	33
38 - 53	3,1	1,6	1,5	12,8	0,22	7,1	11	59	2	29	28
53 - 88	5,0	4,3	0,6	5,3	0,46	9,4	273	64	3	24	37
>88	1,7	1,3	0,4	3,5	0,15	8,8					

Tiefe cm	pH CaCl ₂	KAK pot.	KAK eff.	austauschbare Kationen					BS %	verfügbar	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺⁺ +Al ³⁺		K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
				----- mmol/kg -----							
0 - 7	7,2	397		385	9	1	2	100	57	10	
7 - 19	7,3	361		352	6	0	3	100	25	6	
19 - 38	7,4	247		241	4	0	2	100	9	0	
38 - 53	7,4	216		211	3	0	2	100	11	1	
53 - 88	7,4	291		285	4	0	2	100	62	12	
>88	7,4	187		185	2	0	0	100	28	11	

Tiefe cm	Fe _t g/kg	Fe _d g/kg	Fe _o g/kg	Fe _p g/kg	Fe _{d/t}	Fe _{o/d}	Al _d g/kg	Al _o g/kg	Al _p g/kg	Mn _d g/kg	Mn _o g/kg
0 - 7		9,9	3,9		0,39	0,49	1,50			0,25	0,18
7 - 19		10,3	4,3		0,42	0,59	1,57			0,30	0,20
19 - 38		11,6	4,2		0,36	0,56	1,61			0,23	0,14
38 - 53		8,9	2,1		0,24	0,50	1,52			0,10	0,04
53 - 88		14,5	0,6		0,04	0,42	2,22			0,04	>0,01
>88		13,0	0,6		0,05	0,30	1,33			0,01	>0,01

Tiefe cm	Tonmineralfraktion <2µm					
	Kao	Illit	WL	Sm	Verm	Chl
----- % -----						
0 - 7	16	11	18	39	16	0
7 - 19	18	11	18	31	22	0
19 - 38	16	10	14	43	17	0
38 - 53	15	10	17	39	19	0
53 - 88	12	8	13	53	14	0
>88	13	10	23	44	10	0

Kommentar

Mehrere Lagen von Hangschutt der mergeligen Oberen Süßwassermolasse liegen flachgründig auf Malmkalken. Karstphänomene mit Quellaustritten und Versickerungen beherrschen die Landschaft. Das Profil ist von kalkhaltigem Quellwasser und markanten Kalkausfällungen geprägt. In 38 und 53 cm Tiefe folgen zwei begrabene Ah-Horizonte.

Wir wandern nun hangabwärts und betrachten im Bohrstock Niedermoore und Anmoorgleye.

Exkursionspunkt 6: Aderzhofen

Kurzcharakteristik

Koordinaten: 48°10'24.2"N 9°34'17.7"E

Meereshöhe: 600 m

Exposition:

Hangneigung: eben

Vegetation: Grünland

Ausgangsgestein: anthropogene

Aufschüttungen über Hangschutt über

Mergeltonen der Brackwassermolasse

KA5: vergleyte Pseudogley-Braunerde

WRB (2014): Eutric Albic Mollic Planosol

(Humic, Amphiloamic, Ruptic, Transportic, Bathyglyeyic, Bathycalcaric)

Kenndaten des Profils Aderzhofen

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	Gefüge	Skelett Vol.-%	Lagerungsdichte kg/dm ³
0 - 13	jAh1	10YR 3/3	kru, pol	<2	1,07
13 - 20	jAh2	10YR 3/3	kru, pol	50	1,52
20 - 32	IIAh-Bv	2.5Y 5/3	pol	<2	1,59
32 - 50	IIISw-Bv	2.5Y 6/3	pol	0	1,41
50 - 80	Bv-Sw	5Y 6/3 5YR 5/8	pol	<2	1,46
80 - 100	IVsGro	5Y 6/2 5YR 5/8 2.5Y 4/2	pol	5	
>100	emCn	7.5YR 5/8 5Y 6/2			

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 13	2	11	33	46	15	11	9	34	20	Ls3	loam
13 - 20	10*	13	28	50	13	10	8	31	18	Ls3	loam
20 - 32	1	5	35	41	14	13	10	37	22	Ls3	loam
32 - 50	0	2	12	14	12	30	20	61	25	Lu	silt loam
50 - 80	0	1	4	5	9	33	26	67	27	Tu4	silt loam
80 - 100	0	0	2	3	8	17	22	48	49	Tu2	silty clay
>100	3	3	3	9	11	18	21	51	41	Tu3	silty clay

Tiefe cm	C _t %	C _{org} %	C _{anorg} %	CaCO ₃ äqu. %	N _t %	C/N	k _s cm/d	GPV	LK ----- Vol. % -----	nWSK	TW
0 - 13	5,4	5,2	0,2	1,8	0,56	9,2		63	10	36	17
13 - 20	3,5	2,8	0,7	6,0	0,30	9,2					
20 - 32	1,4	1,3	0,1	0,6	0,17	7,8		49	7	26	16
32 - 50	0,6	0,5	0,1	0,6	0,10	5,0		45	4	25	17
50 - 80	0,4	0,3	0,1	0,5	0,08	3,8		52	5	28	19
80 - 100	0,3	0,2	0,1	0,7	0,08	2,4		53			22
>100	7,5	0,1	7,4	61,6	0,04	2,7					

Tiefe cm	pH CaCl ₂	KAK pot.	KAK eff.	austauschbare Kationen					BS %	verfügbar	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺		K _{la} mg/kg	P _{la} mg/kg
0 - 13	6,6	273		191	16,4	5,9	0,1		78	248	413
13 - 20	7,1	197		140	9,1	2,0	0,1		77	72	222
20 - 32	7,1	173		105	8,0	1,6	0,1		66	57	23
32 - 50	7,1	178		165	10,4	2,5	0,1		100	96	2
50 - 80	7,1	182		164	15,6	2,1	0,1		100	84	0
80 - 100	7,0	179		144	29,6	4,9	0,1		100	210	5
>100	7,5									62	20

Tiefe cm	Ca _w	verwitterbar		P _w	Kao	Tonmineralfraktion <2µm				
		Mg _w %	K _w			Illit	WL	Sm	Verm	Chl
0 - 13	3,2	0,6	0,3	0,18	11	16	8	59	0	6
13 - 20	7,1	0,6	0,2	0,15	9	12	16	59	0	4
20 - 32	1,1	0,5	0,2	0,07	11	15	14	56	0	5
32 - 50	1,1	0,9	0,3	0,05	10	11	20	52	0	7
50 - 80	1,0	1,0	0,3	0,06	10	12	22	52	0	4
80 - 100	1,3	1,2	0,5	0,04	5	12	18	60	0	5
>100	26,8	1,4	0,2	0,06	4	6	18	68	0	5

Kommentar

Ab etwa 100 cm steht die Brackwassermolasse an, die sehr dicht und mit 65% stark carbonathaltig ist. Darüber liegt ein Horizont mit Hanggley-Eigenschaften (mit hohem Goethit-Anteil), der vermutlich aus der Brackwassermolasse entstanden ist und teilweise durch Wasser gespeist wird, das vom Bussen herunterkommt (s. nächster Exkursionspunkt).

Weiter oben sind in verschiedenen Hangschuttlagen Pseudogley-Merkmale zu beobachten. Beim Oberboden handelt es sich offensichtlich um eine anthropogene Aufschüttung. Bei der Probenahme 2013 wurde der emC-Horizont mit dem Pürckhauer durchstoßen, worauf „artesisches“ Wasser heraufschoss.

Exkursionspunkt 7: Bussen

Der 787 m hohe Bussen besteht aus Oberer Süßwassermolasse und Brackwassermolasse und ist durch einen bis 8 m mächtigen Kalkhärtling vor Abtragung geschützt. Während des Pleistozäns erreichten nur die Gletscher des Reiß-Glazials den Bussen, schlossen ihn von drei Seiten ein, konnten ihn aber nicht überfließen (Abb. 6).

Der Bussen wird auch „Heiliger Berg Oberschwabens“ genannt. Schon keltische und germanische Kultstätten sind bekannt. Die christliche Bussenwallfahrt ist erstmals 805

urkundlich erwähnt. Die heutige Kirche St. Johann Baptist sowie die darin aufbewahrte Pietà stammen aus dem 16. Jahrhundert, wobei das Langhaus 1960 niedergerissen und in verbreiteter Form neu aufgebaut wurde. An klaren Tagen eröffnet der Bussen einen Blick sowohl zum Ulmer Münster als auch zu den Schweizer Alpen. Die beste Aussicht hat man vom Bergfried, einer ursprünglich staufischen und später habsburgischen Burganlage, die im 30jährigen Krieg von schwedischen Truppen zerstört wurde.

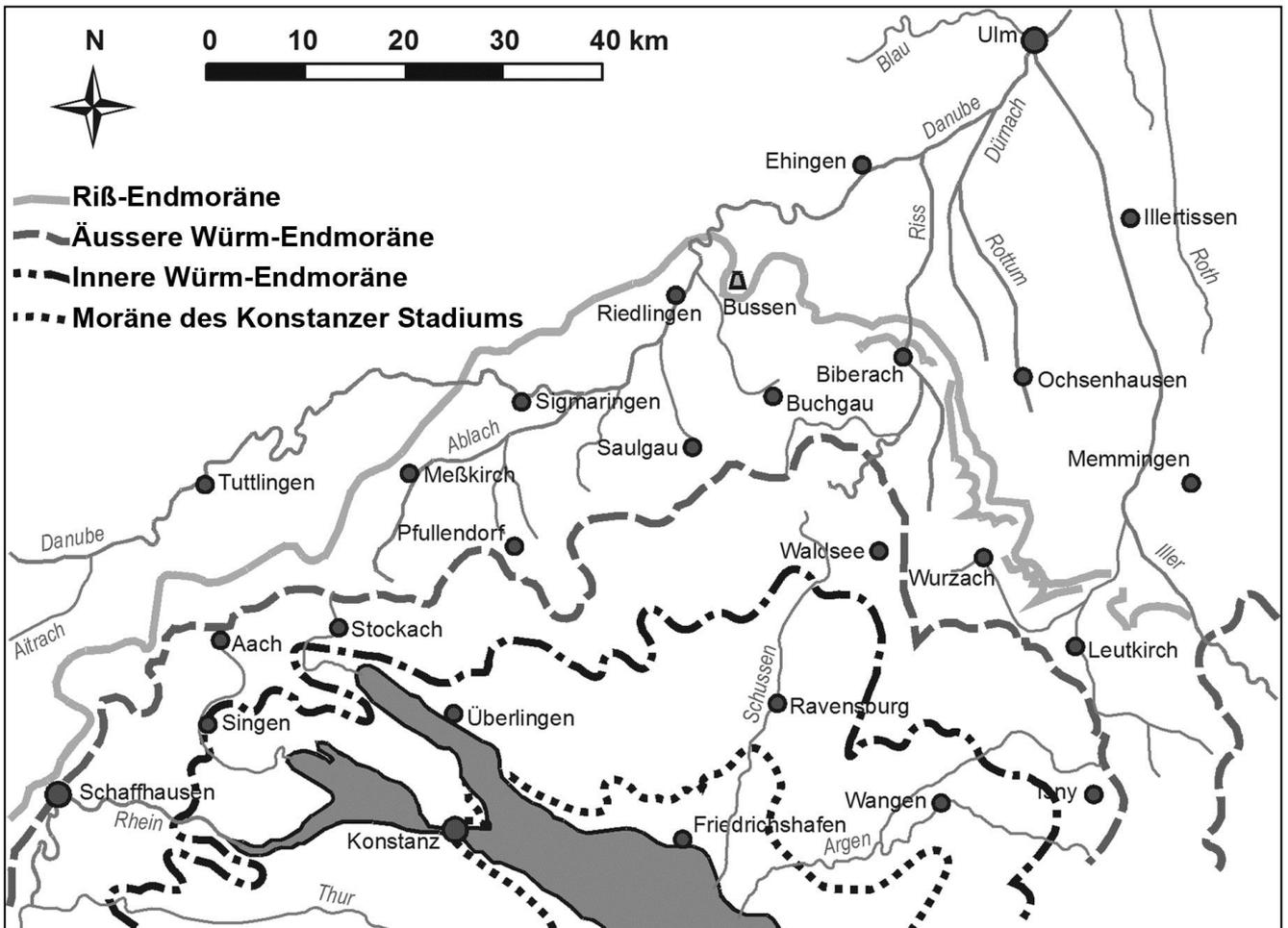


Abb. 6: Endmoränen in Oberschwaben (modifiziert nach Sauer und Stahr, 2011).

Kurzcharakteristik des Profils Bussen

Koordinaten: 48°9'39.9"N 9°33'12.1"E
 Meereshöhe: 733 m
 Exposition: WSW
 Hangneigung: 13° (Oberhang)
 Vegetation: Mischwald

Ausgangsgestein: kalkhaltige Sande der Oberen Süßwassermmolasse
 KA5: reliktsch vergleyte Normpararendzina
 WRB (2014): Calcaric Cambic Endorelictigleyic
 Phaeozem (Amphiarenic)



Detail in 80 cm Tiefe: Eisenband im gut dränierten sandigen Material. Foto: L. Herrmann

Kenndaten des Profils Bussen

Tiefe cm	Horizont	Munsell feucht	Gefüge	Skelett Vol.-%	Lagerungsdichte kg/dm ³
0 - 20	Axh	10YR 3/2	kru	2	1,22
20 - 40	Ah-eCv	2.5Y 4/4	sub	2	1,29
40 - 90	rGo-eCc	5Y 6/4	ein	0	1,34
>90	rGo-elC	5Y 6/4	ein	0	1,50

Tiefe cm	gS %	mS %	fS %	ΣS %	gU %	mU %	fU %	ΣU %	T %	Bodenart KA5	texture FAO
0 - 20	1,8	24,6	44,4	70,8	8,0	5,6	4,1	17,6	11,7	SI3	sandy loam
20 - 40	1,0	18,2	58,9	78,0	7,1	4,8	2,9	14,8	7,2	SI2	loamy sand
40 - 90	0	15,3	67,9	83,2	6,8	5,3	1,7	13,9	2,9	Su2	loamy sand
>90	0	38,5	49,4	87,9	4,4	4,0	1,2	9,6	2,4	Ss	sand

Tiefe cm	C _t %	C _{org} %	C _{anorg} %	CaCO ₃ äqu. %	N _t %	C/N	k _s cm/d	GPV	LK ----- Vol. % -----	nWSK	TW
0 - 20	2,39	2,27	0,12	1,0	0,18	12,6		58,6	21,6	27,7	9,3
20 - 40	1,63	0,69	0,94	7,8	0,04	17,3		54,5	26,2	23,0	5,4
40 - 90	1,55	0,42	1,13	9,4	0,02	21,2		48,4	18,9	26,4	3,1
>90	1,53	0,45	1,08	9,0	0,01	45,2		53,8	29,6	21,6	2,6

Tiefe cm	pH CaCl ₂	KAK pot.	KAK eff.	austauschbare Kationen					BS	verfügbar	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺⁺ +Al ³⁺	%	K _{la}	P _{la}
				----- mmol _c /kg -----						mg/kg	
0 - 20	6,7	132,0		97,6	33,3	0,6	0,1		100	35,8	4,4
20 - 40	7,1	57,3		36,9	19,8	0,5	0,1		100	20,3	4,7
40 - 90	7,0	30,2		18,1	11,6	0,4	0,1		100	18,2	4,4
>90	7,0	22,4		13,2	8,8	0,3	0,1		100	16,1	4,4

Tiefe cm	Fe _t g/kg	Fe _d g/kg	Fe _o g/kg	Fe _p g/kg	Fe _{d/t}	Fe _{o/d}	Al _d g/kg	Al _o g/kg	Al _p g/kg	Mn _d g/kg	Mn _o g/kg
0 - 20		4,04	0,77			0,19	0,43	0,32		0,17	0,15
20 - 40		3,98	0,50			0,13	0,29	0,15		0,14	0,06
40 - 90		1,69	0,06			0,03	0,13	0,05		0,06	0,02
>90		5,12	0,05			0,01	0,60	0,03		0,16	0,00

Tiefe cm	verwitterbar				Tonmineralfraktion <2μm						
	Ca _w	Mg _w	K _w	P _w	Kao	Illit	WL	Sm	Verm	Chl	
	-----%-----				g/kg	----- % -----					
0 - 20	0,48	0,75	0,19	0,06	12	8	5	4	69	3	
20 - 40	2,22	1,33	0,17	0,05	7	4	3	1	84	2	
40 - 90	2,43	1,72	0,14	0,04	5	2	0	2	90	2	
>90	2,37	1,70	0,09	0,03	2	1	0	0	97	0	

Kommentar

Die Lage am Oberhang und mutmaßlich wiederkehrende Erosionsereignisse haben eine stärkere Bodenentwicklung verhindert. In 40 – 90 cm Tiefe ist eine schwache Anreicherung von sekundärem Carbonat erkennbar, das durch Hangzugwasser eingetragen worden sein könnte. Die Gleymerkmale im Unterboden sind als reliktsch anzusehen, was auch durch die niedrigen Fe_o/Fe_d -Quotienten bestätigt wird. Sie könnten durch Hangzugwasser entstanden sein, das gegen Ende des Würmglazials auf Permafrost abgeflossen ist.

Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage (KA5). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Buchner E (1998): Die süddeutsche Brackwassermolasse in der Graupensandrinne und ihre Beziehung zum Ries-Impakt. Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., 80 (NF): 399-459.
- Geyer OF, Gwinner MP (1991): Geologie von Baden-Württemberg. 4. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart.
- IUSS Working Group WRB (2014): World Reference Base for Soil Resources 2014. Edited by P Schad, C van Huyssteen, E Micheli. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Maurer H (2006): Rekonstruktion der Ablagerungsverhältnisse im nordalpinen Vorlandbecken Südwest-Deutschlands. Dissertation. Universität Stuttgart.
- Sach VJ (2013): Fossilienkatalog der Oberen Süßwassermolasse (OSM), Brackwassermolasse (BM), Oberen Meeresmolasse (OMM) und der Unteren Süßwassermolasse (USM) in Südwestdeutschland. Oberschwabenportal:
http://www.oberschwabenportal.de/tl_files/Autoren/Sach/Sach_MolasseFossilienkatalog_2013_hi.pdf
- Sauer D, Stahr K (2011): Pleistocene glaciations in SW Germany and changes of the Danube and Rhine river systems. In: Sauer D (Ed.): From the northern ice shield to the Alpine glaciations. Excursion Guidebook, INQUA Congress 2011. Geozon, Greifswald.
- Vennemann TW, Hegner E (1998): Oxygen, strontium and neodymium isotope composition of fossil shark teeth as a proxy for the palaeoceanography and palaeoclimatology of the Miocene northern Alpine Paratethys. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 142, 107-121.

D-04: Musterstücke der Bodenschätzung bei München

Christoph Hirsch

Bayerisches Landesamt für Steuern, München



Abb. 1: Exkursionsroute und Lage der Musterstücke der Bodenschätzung

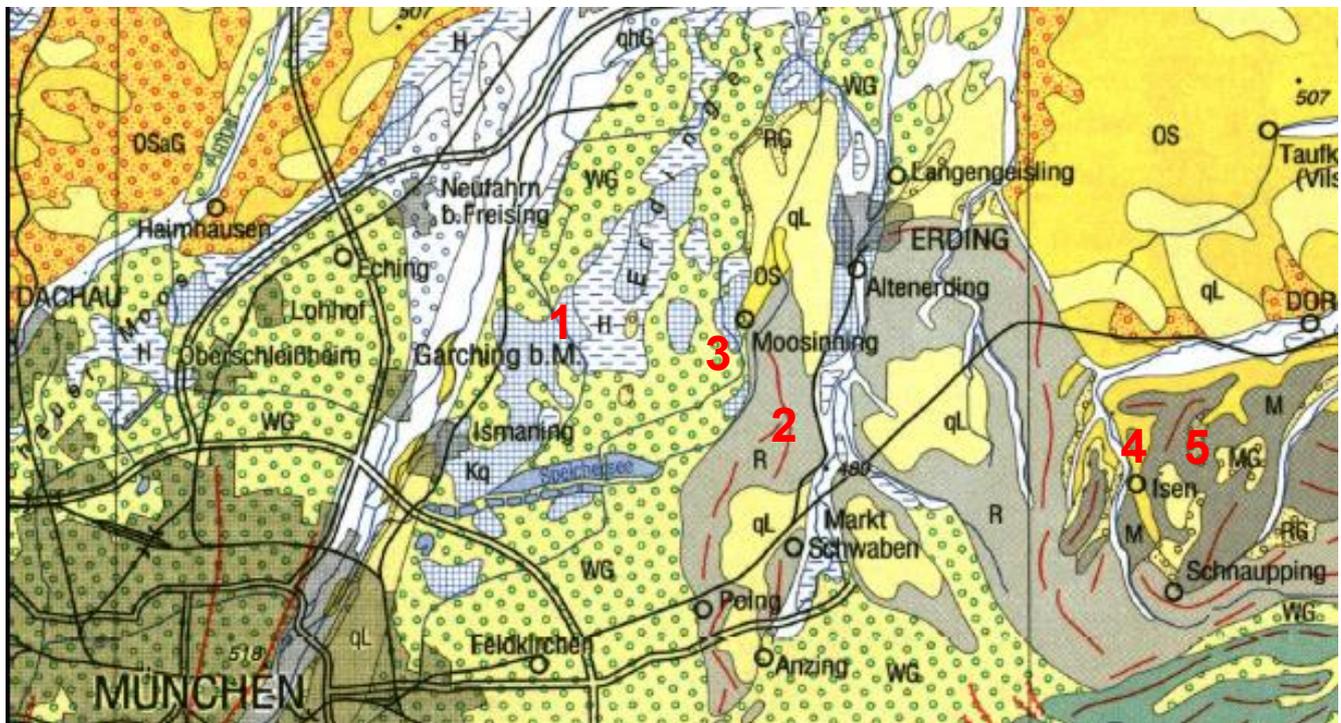


Abbildung 2: Geologie des Exkursionsgebietes und Lage der Musterstücke (H Niedermoor, Kq Alm, OS Obere Süßwassermolasse, OSaG oberer Quarzrestschotter der Oberen Süßwassermolasse, R Rissmoräne, RG risszeitliche Schotter, W Würmmoräne, WG würmzeitliche Schotter, qL quartärer Löss und Lößlehm, qhG alt- bis mittelholozäne Schotter); Kartengrundlage Geologische Karte 1:500 000.

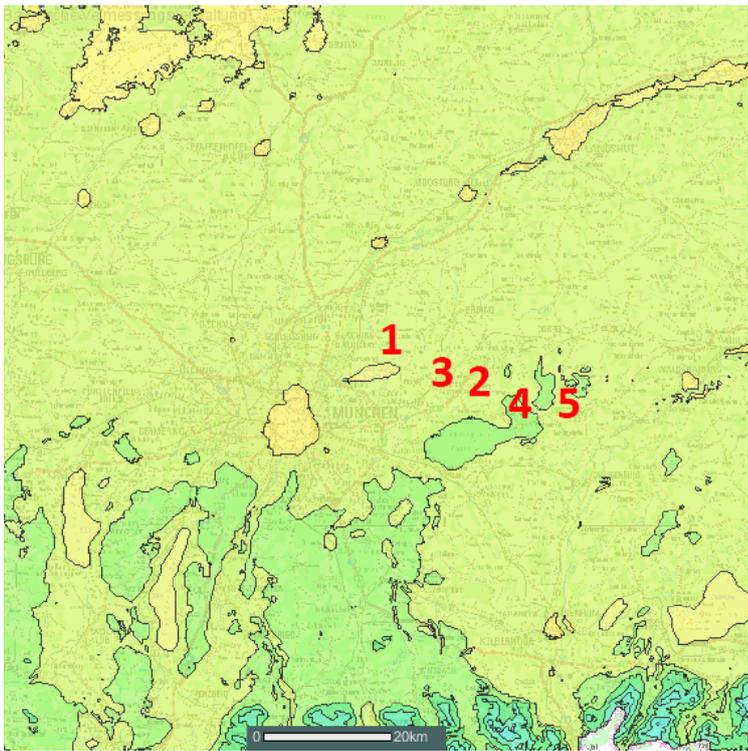


Abbildung 3: Jahresmitteltemperatur im Exkursionsgebiet

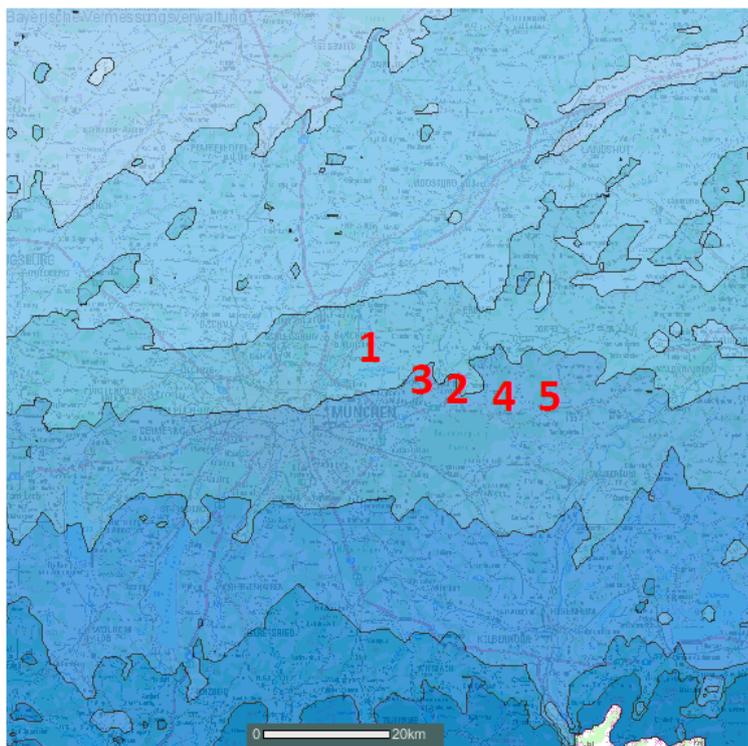
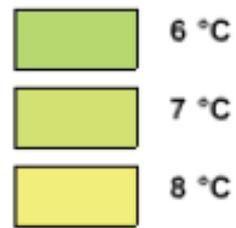


Abbildung 4: Mittlerer Jahresniederschlag im Exkursionsgebiet

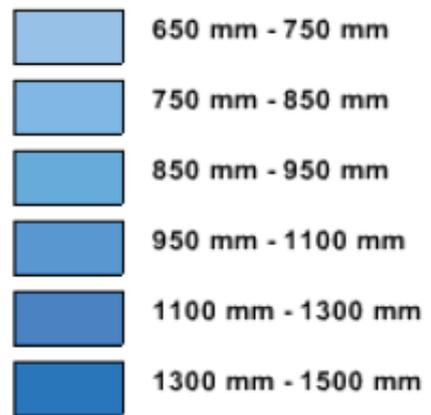


Tabelle 1: Exkursionspunkt 1 – Beschreibung des Musterstücks für Ackerland Nr. 9142.03 (besichtigt am 26.05.1976, Bayerisches Landesamt für Steuern, Finanzamt München, Gemeinde Ismaning, Gemarkung Ismaning, Flurstück 3036)

Höhe über NN	479 m	Jahreswärme	7,4 °C	Jahresniederschlag	790 mm				
Größe	900 m ²	Meßtischblatt	NO 6 - 5	Rechtswert	4480162	Hochwert	5347203		
Geologische Entstehung Alluvium (Almkalk)									
Bodentyp									
Boden- beschreibung	1 h3 ka3 L,s3-fs3 2,5 2 Wika,schl3+bä(Mo)								
Bodenart	SL	Zustandsstufe 4			Entstehung AI				
Bodenzahl	Besonderheiten / Abrechnungen (%)			Klima (%)	Ackerzahl				
53				0	53				
Bemerkungen									
Tiefe (dm)	Abs A	Abs B	Staub	FeinS	GrobS	Stein	Boart Kopecky		
2,0 - 3,0		25,0	25,6	9,0	40,4		sL(SL)		
2,5 - 10,0		54,9	35,8	5,1	4,2				
Ton	fU	mU	gU	fS	mS	gS	Stein	Horizont	Boart Köhn
9,4	8,4	18,1	17,8	12,0	11,8	22,5			SI3u3
23,8	19,0	30,1	21,4	3,0	1,6	1,1			
pH	Carb.%	Corg %	Hum %	Nt %	C/N	KAK	Base	K₂O	P₂O₅
7,3	92,00		5,10						
7,5	98,00								

Tabelle 2: Exkursionspunkt 2 – Beschreibung des Musterstücks für Ackerland Nr. 9114.03 (besichtigt am 02.07.1937, Bayerisches Landesamt für Steuern, Finanzamt Erding, Gemeinde Neuching, Gemarkung Oberneuching, Flurstück 604)

Höhe über NN	500 m	Jahreswärme	7,4 °C	Jahresniederschlag	780 mm				
Größe	1400 m ²	Meßtischblatt	NO 5-9.10	Rechtswert	4488984				
				Hochwert	5344495				
Geologische Entstehung Löß auf Altmoräne									
Bodentyp									
Boden- beschreibung	1 h3-h2 L,fs3 2,5 2 h2 L,fs3 2,0 - 3,0 3 L,fs3 3,0 - 4,0 4 ka4 L,fs4-Lö								
Bodenart	L	Zustandsstufe		3	Entstehung L _ö				
Bodenzahl	74	Besonderheiten / Abrechnungen (%)			Klima (%) -6				
					Ackerzahl 70				
Bemerkungen									
Tiefe (dm)	Abs A	Abs B	Staub	FeinS	GrobS	Stein	Boart	Kopecky	
0,5 - 1,5	30,8		49,2	16,2	3,8	1,0	L		
3,5 - 4,5	29,8		51,0	17,2	2,0		sL		
9,0 - 10,0	23,4		59,2	15,6	1,8		SL		
pH	Carb.%	Corg %	Hum %	Nt %	C/N	KAK	Base	K₂O	P₂O₅
6,8	0,05								
6,0	0,00								
>7,0	32,70								

Tabelle 3: Exkursionspunkt 3 – Beschreibung des Musterstücks für Grünland Nr. 9114.52 (besichtigt am 02.07.1937, Bayerisches Landesamt für Steuern, Finanzamt Erding, Gemeinde Neuching, Gemarkung Oberneuching, Flurstück 999)

Höhe über NN	487 m	Jahreswärme	7,4 °C	Jahresniederschlag	780 mm				
Größe	660 m ²	Meßtischblatt	NO 5-9.7	Rechtswert	4487555				
				Hochwert	5344271				
Geologische Entstehung Alluvium									
Bodentyp									
Boden-	1 h4-mo3 L,fs3 2,0								
beschreibung	2 Schli,t3 1,0								
	3 S,l4,ki3-Scho,l3,s3								
Bodenart	LMO	Bodenstufe	-	Klimastufe	b				
				Wasserstufe	3				
Grünlandgrundzahl	Besonderheiten / Abrechnungen (%)				Grünlandzahl				
45					45				
Bemerkungen GrA									
Tiefe (dm)	Abs A	Abs B	Staub	FeinS	GrobS	Stein	Boart	Kopecky	
0,5 - 1,0	49,4		37,2	9,0	4,4	1,0	LT(Mo)		
2,0 - 3,0	70,8		25,6	1,8	1,8		T		
2,5 - 5,5	23,0		21,0	12,4	43,6	66,0	SL		
pH	Carb.%	Corg %	Hum %	Nt %	C/N	KAK	Base	K₂O	P₂O₅
>7,0	10,60		15,40						
6,8	0,12		29,10						
>7,0	45,20								

Tabelle 4: Exkursionspunkt 4 – Beschreibung des Musterstücks für Ackerland Nr. 9114.06 (besichtigt am 08.07.1937, Bayerisches Landesamt für Steuern, Finanzamt Erding, Gemeinde Isen, Gemarkung Westach, Flurstück 1300)

Höhe über NN	530 m	Jahreswärme	7,2 °C	Jahresniederschlag	840 mm				
Größe	1925 m ²	Meßtischblatt	NO 4-16.4	Rechtswert	4504954	Hochwert	5342336		
Geologische Entstehung Decklehm auf Rißmoräne									
Bodentyp									
Boden- beschreibung	1 h4-h3 L,fs2-kr 2,0 2 h2 L,kr-sch 2,0 - 1,0 3 ka3 r2 L,t3,st2-T,l3								
Bodenart	LT	Zustandsstufe 3			Entstehung D				
Bodenzahl	68	Besonderheiten / Abrechnungen (%)			Klima (%)	Ackerzahl			
		Gel S			-4	-12		57	
Bemerkungen									
Tiefe (dm)	Abs A	Abs B	Staub	FeinS	GrobS	Stein	Boart Kopecky		
0,5 - 1,5	46,0		34,6	12,8	6,6	8,0	LT		
3,0 - 4,0	56,6		32,8	3,8	6,8	7,0	LT		
7,0 - 8,0	39,8		46,4	8,4	5,4	9,0	L		
pH	Carb.%	Corg %	Hum %	Nt %	C/N	KAK	Base	K₂O	P₂O₅
6,4	0,12		4,20						
6,3	0,00								
6,7	0,72								

Tabelle 5: Exkursionspunkt 5 – Beschreibung des Musterstücks für Grünland Nr. 9114.54 (besichtigt am 08.07.1937, Bayerisches Landesamt für Steuern, Finanzamt Erding, Gemeinde Isen, Gemarkung Westach, Flurstück 1310)

Höhe über NN	520 m	Jahreswärme	7,2 °C	Jahresniederschlag	840 mm				
Größe	4900 m ²	Meßtischblatt	NO 4-16.3	Rechtswert	4504766	Hochwert	5342278		
Geologische Entstehung		Alluvium							
Bodentyp									
Boden- beschreibung	1 h3 L,kr 2,0 2 (h1) L,kr-t3 2,0 3 r2 L,t3-T,I3								
Bodenart	T	Bodenstufe	I	Klimastufe	b	Wasserstufe	2		
Grünlandgrundzahl	64	Besonderheiten / Abrechnungen (%)			Wa Ü	-4	Grünlandzahl	61	
Bemerkungen									
Tiefe (dm)	Abs A	Abs B	Staub	FeinS	GrobS	Stein	Boart Kopecky		
0,5 - 1,5	67,8		29,8	2,0	0,4		T		
2,5 - 3,5	74,2		23,6	1,8	0,4		T		
4,5 - 5,5	73,6		24,4	1,2	0,8		T		
pH	Carb.%	Corg %	Hum %	Nt %	C/N	KAK	Base	K₂O	P₂O₅
6,2	0,00								
6,0	0,00								
5,6	0,00								

D-05: Meteoric crater of “Nördlinger Ries”

Karl Stahr¹, Reinhard Böcker¹, Reinhard Jochum²

¹ Institutes of Soil Science and Land Evaluation, of Landscape and Plant Ecology, Hohenheim University

² Bavarian Environmental Agency, Augsburg

See chapter B-01: Meteoric crater of “Nördlinger Ries”

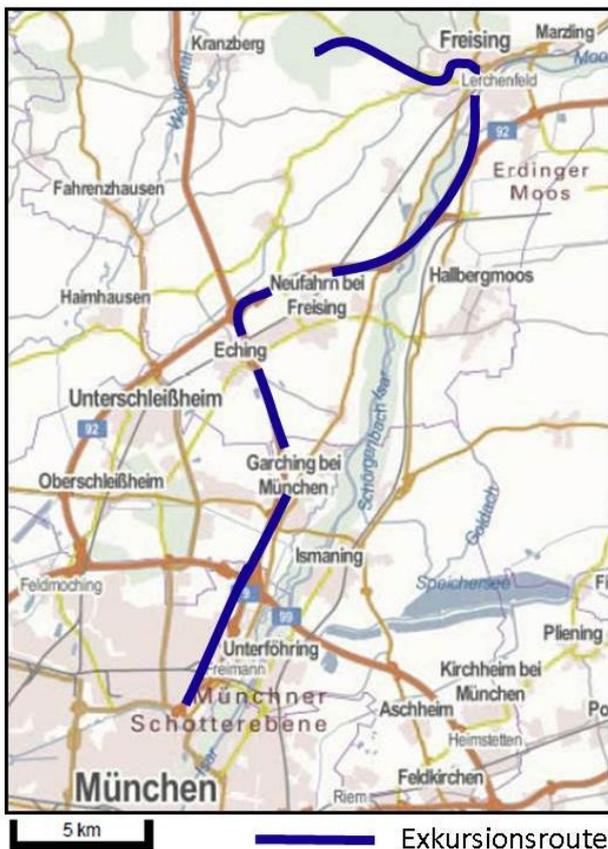
E-01: Experimenteller Trockenstress in einem Buchen-Fichten-Mischbestand (KROOF)

Karl-Heinz Häberle¹, Thomas Rötzer², Karin Pritsch³, Rainer Matyssek¹

¹ Lehrstuhl für Ökophysiologie der Pflanzen, TU München, 85350 Freising

² Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, TU München, 85350 Freising

³ Institut für Bodenökologie, Helmholtz-Zentrum München



Introduction (adopted from Pretzsch et al. 2014)

We describe the setup of the Kranzberg Forest Roof Experiment (KROOF), a rainfall exclusion approach, for examining the role of water supply in mixed versus pure stands each of Norway spruce and European beech. At the Kranzberg site (for geology see Fig. 1; for loess thickness see Fig. 2, for soil properties see Table 1), 12 plots were trenched in 2010, i.e. hydraulically disrupted from the surrounding stand to one meter depth, where a root-impermeable soil horizon prevents further downward-rooting. Plots comprise both species in intra-specific grouping each and within an inter-specific boundary zone in the centre (Fig. 3). Six plots are equipped with water retention

roofs, which only close during rain events. The remaining six plots serve as non-roofed control (Table 2). Kranzberg Forest is part of an ecological gradient with five sites extending through SE-Germany from moist to dry conditions, with each site providing mixed and pure associations each of spruce and beech (Fig. 4). The drought treatment started in May 2014 and is continued in summer 2015. In winter time, the roofs are permanently open allowing refilling of the soil water reserves. The ecophysiological approach will be complemented by tree ring analysis and modeling of productivity of the tree associations under intense drought. Our research concept aims on intra- versus inter-specific assessment of forest productivity in relation to water supply at the tree and stand level.

Background

Tree monocultures have dominated forest research and practice in the past, although today mixed-species stands receive more attention in face of resource scarcity and climate change. Long-term plots suggest that mixed stands frequently over-yield relative to monocultures. Over-yielding is often higher on poor than on fertile sites and under growth limitation rather than ample resource supply. However, the underlying causes have not yet been clarified.

We focus on species interaction related to water supply and water consumption as well as its efficiency. Species interactions at different spatio-temporal scales from organ over tree to stand level will be analyzed for chronic and acute drought. Thereby, the ectomycorrhizal root system is essential because water is redistributed from the deep soil to the surface via hydraulic lift. Drought, on the other hand,

diminishes mycorrhization and could change ectomycorrhizal community composition and

thus water uptake.

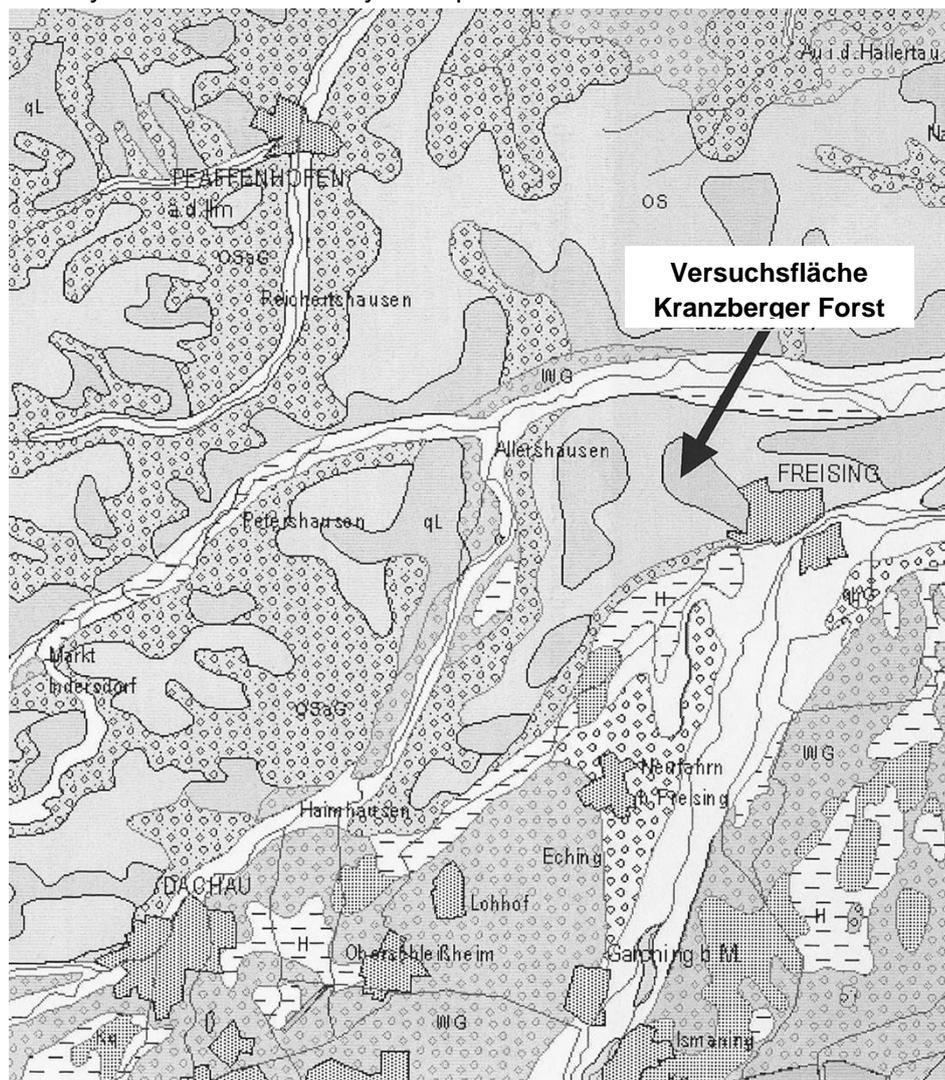


Fig. 1: Section of the geological map 1 : 250.000 with location of the research site. (from Schuhbäck 2004)

Ausschnitt aus der geologischen Karte von Bayern (Maßstab)

os: Obere Süßwassermolasse

OsaG: kiesführende Obere Süßwassermolasse, älterer Teil

WG: würemzeitlicher Schotter

qL: Löß, Lößlehm, Decklehm, z.T. Fließerden

H: Torf

Table 1: Characteristics of mineral soil at the experimental site Kranzberger Forst, Luvisol (schwach pseudovergleyte Braunerde-Parabraunerde), (Göttlein et al. 2012)

Depth cm	Symbol ¹	Texture ¹	Density kg L ⁻¹	WHC _p	pH _{H2O}	pH _{KCl}	CEC µeq g ⁻¹	BS (%)
0-9	Ah	Ut2	0.55	28	4.1	3.2	141	9
9-28	Bv-A1	Ut3	0.96	26	4.4	3.7	59	8
28-44	Bv-A12	Ut3	0.96	26	4.3	3.8	54	7
44-56	Bv-Bt	Ut3	1.06	26	4.3	3.8	53	7
56-80	Bt	Ut4	1.17	22	4.6	3.7	99	24
80-102	Sg-Bt	Tu4	1.09	17	5.0	3.7	141	57
102-120	Bt-Cv	Lu	1.23	20	4.8	3.8	123	64
>120	IICv	Ls3	1.31	20	5.1	3.7	109	71

WHC_p water holding capacity for plant available water; pH_{H2O} soil pH determined with distilled water; pH_{KCl} soil pH determined with 1 M KCl solution; CEC cation exchange capacity determined by NH₄Cl extraction; BS percentage of alkaline and earth alkaline metals at CEC; the main texture classes are S sand, U silt, L loam, T clay

¹According to German classification (AG Boden 2005)

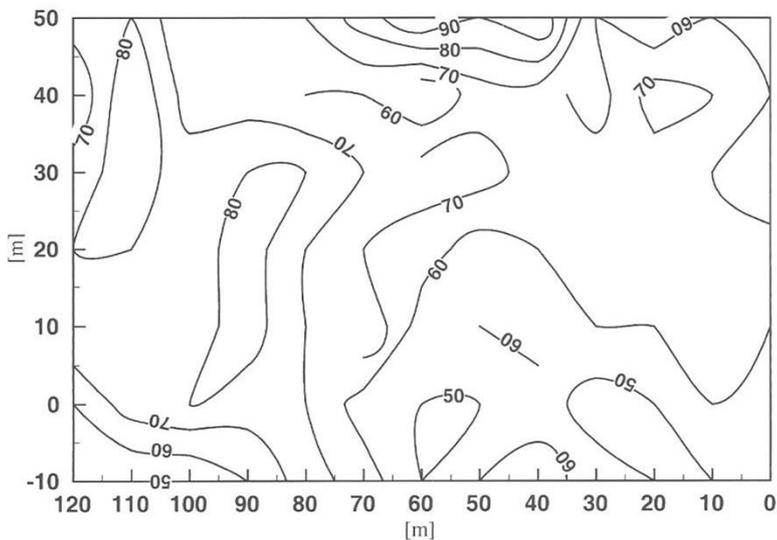


Fig. 2: Thickness of the loess cover above Tertiary bedrock (in cm) at the research site (Schuhbäck 2004)

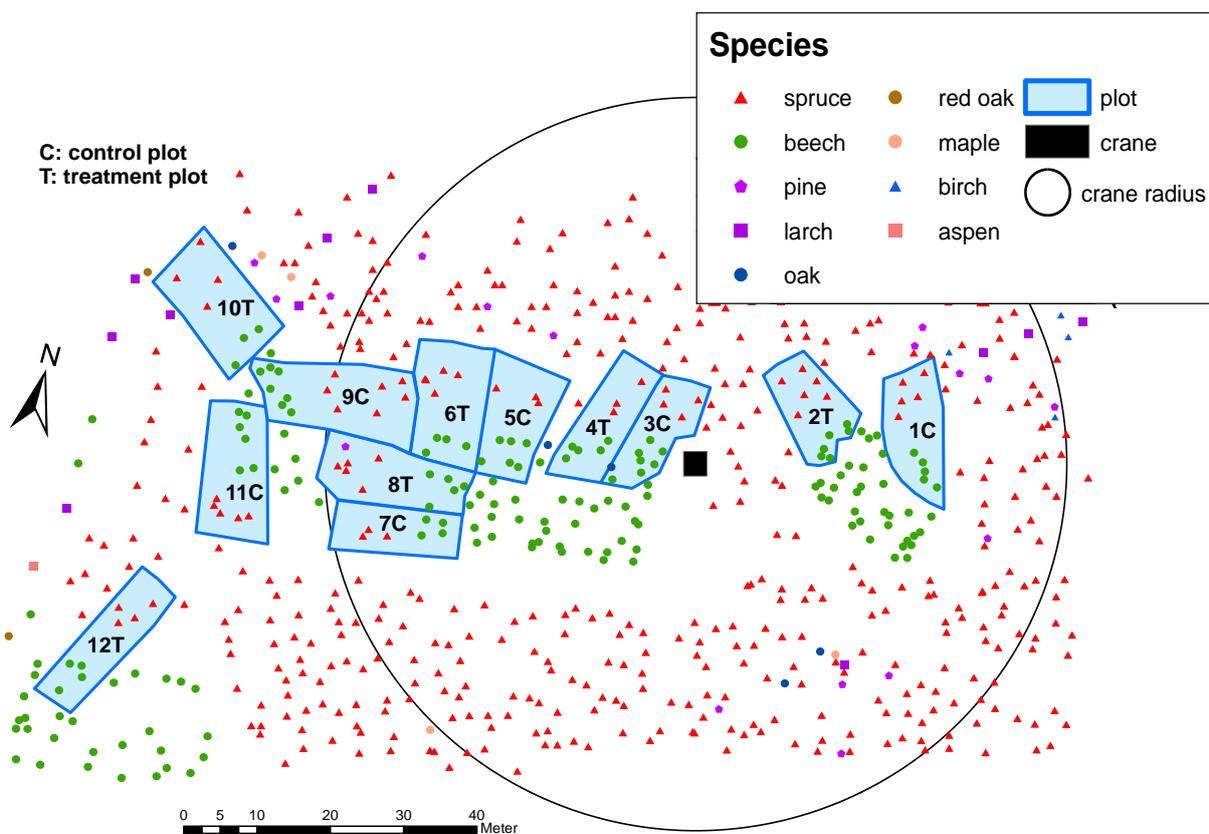


Fig. 3: Map of the KROOF plots within Kranzberg Forest and accessibility of tree crowns by a canopy crane (Pretzsch et al. 2014).

We will scrutinize whether carbon limitation can be observed in trees under drought stress. Isohydric tree species are threatened by carbon starvation because they close stomata already during early stages of drought, while anisohydric species are adapted to tolerate progressive water tension jeopardizing xylem

dysfunction as a consequence of severe drought, however still gaining carbon. These responses to drought may govern facilitation respectively competition for water between tree species. Anisohydric species for example may profit belowground from lowered water sequestration by isohydric species.

Hypotheses

Based on the above outline on mixing effects of species, their potential underlying mechanisms and modifications by site conditions as well as in the view of field observations during the drought years of 1976 and 2003, the following hypotheses are posed for the KROOF experiment:

- (1) Spruce follows an isohydric strategy so that upon stomatal closure under incipient drought growth is limited by reduced carbon uptake, and the proportion of ectomycorrhizae with high carbon demand is diminished.
- (2) Beech follows an anisohydric strategy so that intensive drought limits growth by hydraulic failure and/or impeded long-distant carbon transport.
- (3) Moderate drought limits the water consumption of Norway spruce more severely than that of European beech which, under interspecific competition, benefits from soil water re-partitioning.
- (4) Increasing water limitation within an precipitation gradient drives the competitive strength of European beech relative to Norway spruce.
- (5) Incipient drought affects diversity and function of ectomycorrhizal communities more strongly through carbon limitation in isohydric spruce than in anisohydric beech.
- (6) Increasing drought stress enhances saprotrophic behavior of spruce mycorrhizae, capacities for osmotic protection and water supply to beech mycorrhizae.

These proposed strategies of the two species Norway spruce and European beech along with their different characteristics in terms of space exploitation, resource capture and con-

sumption makes them an ideal couple to examine mixing effects of species. Because this two species are associated with over 100 ectomycorrhizal fungal species these species are highly suitable for analyzing species mixing effects under drought.

Level and direction of the effect of species-mixing strongly depends on the resource supply of the site and meteorological growing conditions within the growing season. Fostering humus formation and water storage of soils, enhancing stand density, increasing light efficiency and water resources, improving soil fertility and resource storage along with structural advantages like different crown plasticities and root architecture may among others contribute to over- or underyielding of mixed species stands in comparison with monospecific stands.

References

- AG Boden (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, 438 S., Hannover.
- Göttlein A., Baumgarten M., Dieler J. (2012) Site conditions and tree-internal nutrient partitioning in mature European beech and Norway spruce at the Kranzberger Forst. In: Matyssek et al., *Growth and Defence in Plants. Ecological Studies* 220. pp. 193-211. Springer Verlag.
- Pretzsch H., Rötzer T., Matyssek R., Grams T.E.E., Häberle K.-H., Pritsch K., Kerner R., Munch J.-C. (2014): Mixed Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.] stands under drought: from reaction pattern to mechanism. *Trees* 28:1305-1321.
- Schuhbäck T. (2004) Nährelementstatus und Bodenzustand an der Bestandesgrenze Buche-Fichte im Mischbestand Kranzberger Forst. Diplomarbeit am Fachgebiet für Waldernährung und Wasserhaushalt an der Technischen Universität München.

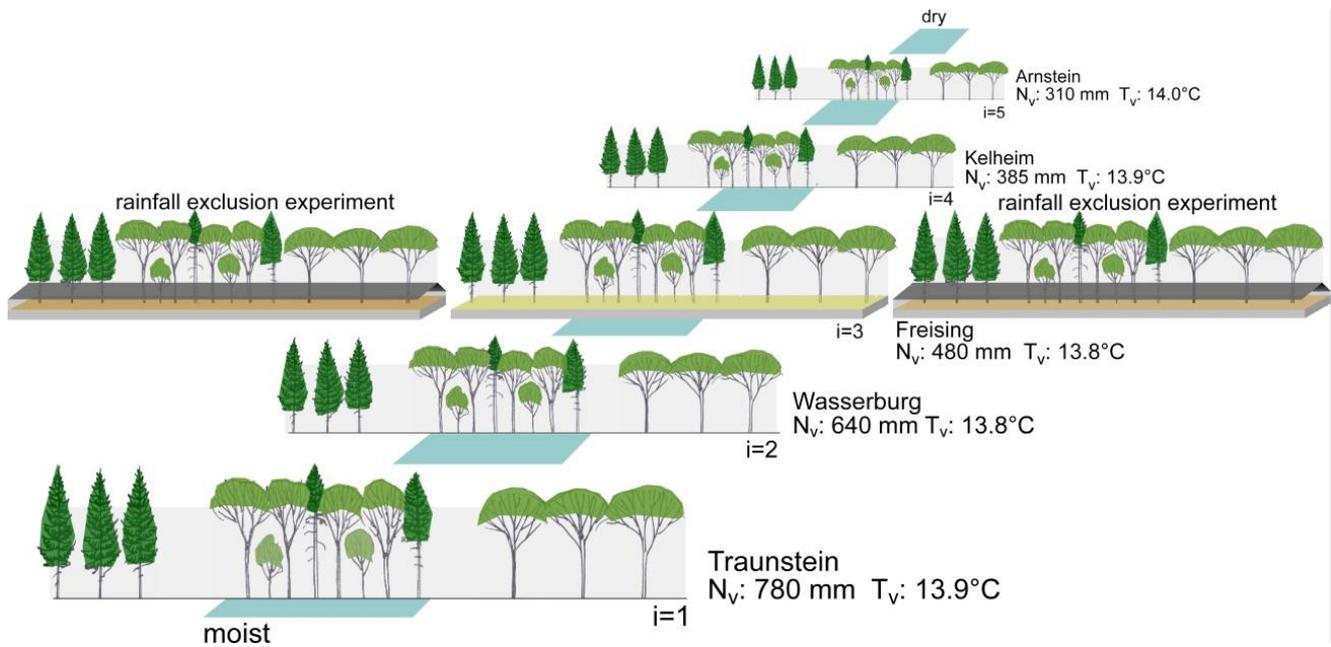


Fig. 4: Transect setup comprising a series of triples (pure spruce, pure beech, mixed spruce/beech stands) as located along a precipitation gradient from moist to dry sites across Bavaria (SE-Germany) combined with a controlled rainfall exclusion experiment KROOF on one site in the centre of the gradient with medium water supply.

Table 2: Characteristics of the six control and six treatment plots of KROOF at Kranzberg Forest in 2012 (abbreviations: N: Number of trees per ha, ba: basal area per ha, V: total stem volume per ha, KKL: competition index, dm: mean diameter at 1.3 m breast height, d100: dominant diameter at 1.3 m breast height, hm: mean height, h100: dominant height) (Pretzsch et al. 2014).

Type	Area (m ²)	Species	N (ha ⁻¹)	ba (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)	KKL	dm (cm)	d100 (cm)	hm (m)	h100 (m)
control (6 plots)	868	spruce	300	30.0	451	1.12	35.7	47.1	31.6	34.3
		beech	334	21.6	326	2.21	28.7	41.0	29.2	30.3
		total	634	51.6	777	1.69				
treatment (6 plots)	862	spruce	302	27.2	406	1.39	34.5	46.7	31.3	34.3
		beech	325	21.6	328	2.14	29.1	45.4	29.3	30.6
		total	627	48.8	734	1.79				

E-02: Boden- und Pflanzensensorik sowie Trockenstressversuche auf Ackerflächen im Tertiärhügelland nördlich von München

Kurt Heil, Pablo Rischbeck, Sebastian Kipp, Sabine von Tucher, Urs Schmidhalter

Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, 85350 Freising



Landwirtschaftliche Versuchsstation Dürnast - Zielsetzung, Betrieb, Standort

Im Wesentlichen werden in der Versuchsstation Düngestrategien, Phänotypisierung von Pflanzen im Hochdurchsatz, Trockenstress /Salzstress und Bodenheterogenität bearbeitet. Zu diesem Zweck stehen u.a. folgende Einrichtungen/Anlagen zur Verfügung:

Rainout shelter Anlage: Die Einsatzgebiete für diese Anlagen reichen von der Untersuchung von Trockenstress bis zur Klärung züchterischer Fragestellungen.

Anlage 1: vorherrschende Bodenart: Schluff (Ut4 bis Lu) nFK 240 mm m⁻¹

Anlage 2: vorherrschende Bodenart: mS; nFK 110 mm m⁻¹

Lysimeteranlage: Die Lysimeteranlage ermöglicht die Bestimmung des Wasserhaushalts von Pflanzen und des Transports gelöster Stoffe aus der Wurzelzone. Damit können Nährstoffumsätze und -verluste erfasst werden.

Dauerversuche (seit 1979):

- Prüfung der Wirkung verschiedener N-Formen auf Ertrag und Nährstoffentzug von Winterweizen, Wintergerste und Körnermais (N-Formenversuch) (Fläche 020)
- Prüfung der Wirkung von P-Steigerung und org. Düngung auf Ertrag und Nährstoffentzug von Mais, Kartoffeln/Ackerbohnen und Winterweizen (Fläche 021)
- Wirkung von NP-Steigerung und org. Düngung auf Ertrag und Nährstoffentzug von Mais, Kartoffeln, Wintergerste und Winterweizen (Fläche 022)
- Prüfung der Wirkung einer Kalk- und P-Steigerung auf Ertrag und P-Entzug von Winterweizen, Wintergerste und Rüben (Fläche 016)

Die jährlichen Niederschläge betragen 786 mm (1971-2000), wovon 415 mm von April bis August fallen. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7,8°C (1971-2000).

Die Bildung, Verteilung und Vergesellschaftung der Böden ist eng verbunden mit dem geologischen Ausgangsmaterial (grob- bis feinkörnige Ablagerungen der Molasse als auch Depositionen von Löss) und der landschaftlichen Reliefausprägung. Im Bereich der Versuchsstation dominieren folgende Bodenformen:

- Kolluvisol aus Schluff bis Lehm (Kolluvium) (ÜBK 12a)
- Braunerde aus Schluff bis Schluffton (Lösslehm) (ÜBK 5)

- Braunerde (pseudovergleyt) aus Sand (Deckschicht) über Ton (Molasse) (ÜBK 52a).

Die Bodenschätzung stuft diese Standorte mit

L3D, L4D und sL3D und Ackerzahlen von 60-70 ein. Im engeren Bereich der o.g. Versuche wurde als Leitbodenform ein Acker-Braunerde-Pseudogley identifiziert (Abb. 1, Tab. 1a, b).

Tab. 1: Profilbeschreibung Acker-Braunerde-Pseudogley (Abb. 1)

Nr.	Tiefe ¹⁾ cm	Horizont	Bodenart	-----% (Feinerde)-----										Kies ²⁾ %
				T	fU	mU	gU	U	ffS	fs	mS	gS	S	
1	35	Ap	Lu	22	6	20	37	63	4	4	6	1	16	3
2	66	Bv-Sw	Tu4	27	7	23	36	66	3	1	2	1	7	<1
3-a	92	Bv-Sw + II Cv-Sd "bleich" ³⁾	Ut4	23	8	24	39	71	4	1	2	0	7	0
3-b	92	Bv-Sw + II Cv-Sd "braun" ³⁾	Tu3	33	7	21	34	62	3	1	1	0	5	0
4	140	II ICv	Tu3	31	7	21	32	59	3	3	4	0	9	0
5	>190	III ICv2	Lt2	32	8	20	22	50	3	5	10	1	19	<1

1) Untergrenze, 2) Feldschätzung, 3) tw. Verzahnung von BvSw und Cv,

Nr.	Tiefe ¹⁾ cm	pH (CaCl ₂)	K _{CAL} mg/100 g	P _{CAL}	C _{org} %	Humus %	N _t %	CaCO ₃ %	LD g/cm ³	HR %	DI
2	66	6.3	5.6	0.91	0.28	0.5	0.04	0	1.55	5	3-4
3-a	92	6.3	1.0	1.34	0.19	0.3	0.01	0	1.46	2	2
3-b	92	6.3	3.4	0.93	0.20	0.3	0.02	0	1.46	2	2
4	140	6.5	2.0	0.34	0.20	0.3	0.02	0	1.41	1	1
5	>190	6.7	3.0	0.20	0.21	0.4	0.02	0	1.39	1	0

1) Untergrenze; LD Lagerungsdichte n. Schätzmethode, HR Hohlräume Feldschätzung, DI Durchwurzelungsintensität Profilbeschreibung Kühn

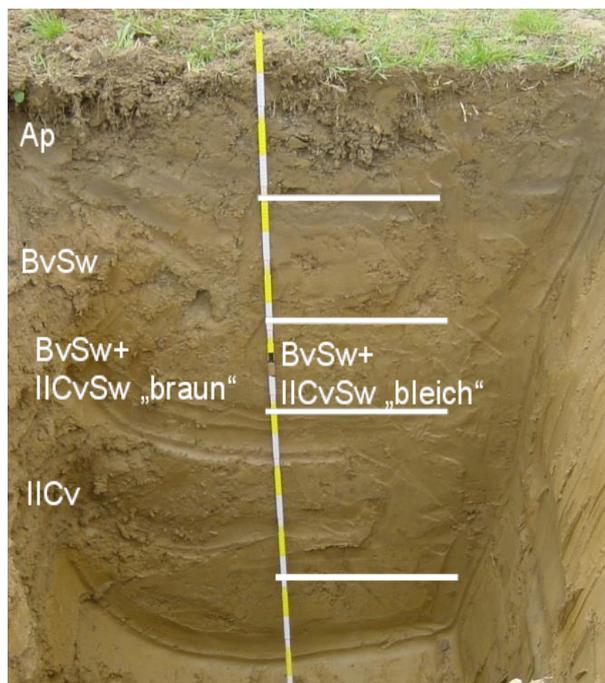


Abb. 1: Leitbodenprofil Dürmast, Acker-Braunerde-Pseudogley, Lage: südlich der Rainout shelter Anlage 1, x: 4477085, 7, y: 5362851,74

Erfassung standörtlicher Heterogenität

Insbesondere in Verbindung mit dem Konzept des Präzisionspflanzenbaus kam der Begriff des Standortes verstärkt in den Fokus der Landwirtschaft. Der Produktionsfaktor „Standort“ als Summe von Lage, Klima und Boden einer landwirtschaftlichen Fläche/Teilfläche als zentrale Einheit muss in ihrer Heterogenität erfasst werden. Dabei sind meist wachstumsrelevante Parameter Ziel derartiger Erfassungen und nicht primär Bodenvariablen. Zur Bewertung werden eine Reihe von Erhebungen genutzt wie Bodenschätzung, Karten (geologische, bodenkundliche, vegetationskundliche Karten), Luftbilder, Beprobung als auch bodennahe Sensoriken (optisch, chemisch, geophysikalisch). In den letzten zwei Jahrzehnten haben diese Sensortechniken einen immensen Entwicklungssprung gemacht. Gerade die geophysikalischen Meßgeräte sind

besonders weit verbreitet (Electromagnetic induction method EMI, direct current method DC, ground-penetrating radar GPR, gamma-ray spectrometry als auch shallow seismics).

Im Lehrstuhl für Pflanzenernährung werden zur Bodendetektion die geophysikalischen Geräte EM38 und EM38-MK2 genutzt. Darüber werden VIS-NIRS-Geräte eingesetzt. Insbesondere elektromagnetische und reflexions-optische Verfahren können auf unterschiedlichem Skalenniveau angewendet werden. Es sind Messungen auf Plotgröße als auch großflächige Erfassungen möglich. In Verbindung mit punktuellen Beprobungen können boden- und pflanzenwachstumsrelevante Parameter abgeleitet werden.

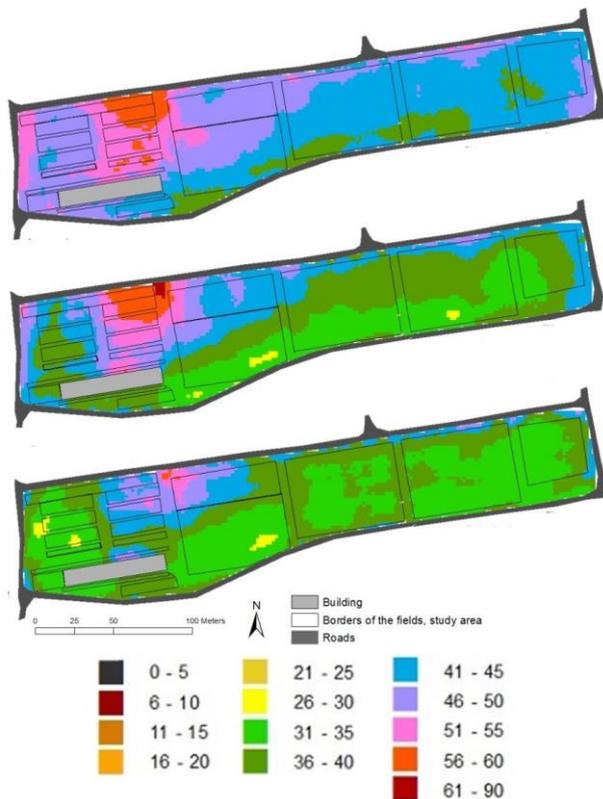


Abb. 2: Verteilung der ECa Werte (mS m^{-1}) im 2×2 m Raster von EM38 und EM38-MK2 in verschiedenen Konfigurationen, Messtermin April 2011 bei Feldkapazität (oben EM38, v-mode; Mitte MK2 v-mode, 1 m Spulenabstand; unten MK2 h-mode, 0,5 m Spulenabstand)

Im Folgenden werden von den beiden erst genannten Sensoren Ergebnisse aus den Bereichen „flächige Verteilung der Bodenleitfähigkeit“, „Wassergehalt“, sowie „Ertragssimulation“ vorgestellt. Diese beiden Geräte wurden bei Heil und Schmidhalter (2015) ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse konzentrieren sich auf die Dauerversuchsflächen in Dürnast.

Die flächigen Verteilungen der Bodenleitfähigkeiten bei Feldkapazität (1./2. April 2011) von EM38 und EM38-MK2 (ausgewählte Konfigurationen) sind in Abb. 2 dargestellt. Niedrigere ECa-Werte korrespondieren einerseits mit niedrigerer Höhe und mit größerem Einzugsgebiet, andererseits mit mehr schluffiger Textur (U: 67 kg kg^{-1} , T: 16 kg kg^{-1} , S: 16 kg kg^{-1} , Kies: 5 kg kg^{-1}). Dagegen treten höhere Leitfähigkeiten in den höheren Bereichen mit toniger Textur auf (T: 26 kg kg^{-1} , U: 56 kg kg^{-1} , S: 17 kg kg^{-1} , Kies: 3 kg kg^{-1}). Zusätzlich zeigen die Bereiche mit niedrigeren ECa-Werten höhere Gehalte an C und N_t .

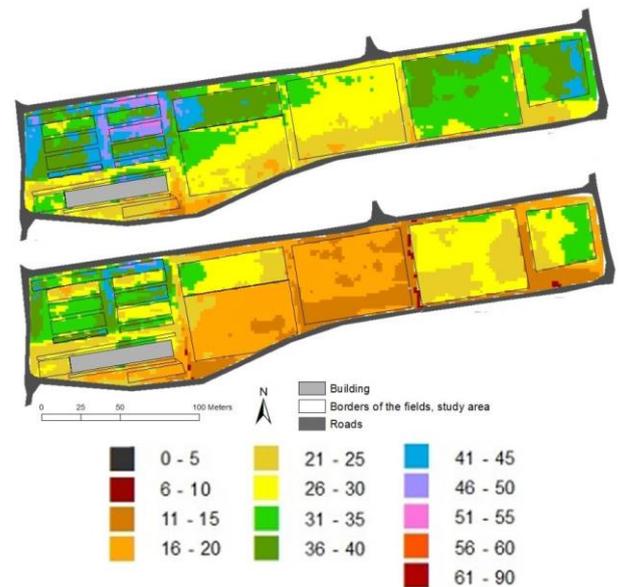


Abb. 3: Verteilung der ECa Werte (mS m^{-1}) im 2×2 m Raster von EM38-MK2 (oben, v-Mode, 1 m Spulenabstand) und EM38 (unten, v-mode, 0,5 m Spulenabstand), Messtermin Mai 2011

Zur Untersuchung des Wassergehalteinflusses auf die ECa-Werte wurden diese Messungen bei wechselnder Bodenfeuchte wiederholt (13./14. Mai und 20 Aug. 2011). Die ECa-Verteilungen im Mai 2011, nach einer rd. 6-wöchigen niederschlagsarmen Zeitspanne zeigt Abb. 3. Die Abnahme der Wassergehalte von 33-35 Vol% (Median, Feldkapazität, April 2011) auf 22-26 Vol% (Median) resultiert in einer Reduktion der ECa-Beträge, insbesondere auf Teilflächen mit Winterfrüchten (Abb. 4). Auf den Teilflächen mit Sommerfrüchten und spät gedüngtem Winterweizen ist diese Verminderung deutlich geringer.

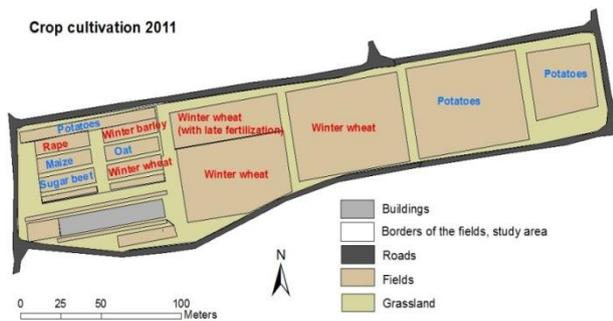


Abb. 4: Anbau 2011 auf den Dauerversuchflächen am Standort Dürnast

Werden alle ECa-Messungen den jeweiligen Wassergehalten in den Tiefenstufen 0-25 cm, 25-50 cm und 50-75 cm unter Einbeziehung der Reliefparameter gegenübergestellt, ergeben sich gute bis sehr gute Modellierungen ($R^2 > 0,7$) (Tab. 2).

Tab. 2: Simulation der Wassergehalte (WC in $l\ l^{-1}$) mittels ECa-Messungen [$mS\ m^{-1}$] und Reliefparametern (Messtermin April, Mai, August 2011, $n = 48$)

Target variable	Predictors	Stand. beta-coeff.	Adj. R ² sig. coeff.
Log ₁₀ (WC) 0 - 25 cm depth	log ₁₀ (ECa) (MK2-h-0.5) ECa (MK2-v-1.0(1/x))	1.010	0.88*** 0.24
WC ³ 25 - 50 cm depth	ECa (MK2-v-1.0) ECa (MK2-h-0.5)	-1.270	0.76*** 0.79 0.39
WC ² 50 - 75 cm depth	ECa (MK2-h-0.5) log ₁₀ (valleydepth) [m] ECa (MK2-v-1.03) ECa (MK2-v-0.53)	0.71	0.71*** 0.42 0.33 -1.34 0.76

Die flächige Verteilung der Wassergehalte (0-25 cm) im 2*2 m Raster für April und Mai 2011 ist in Abb. 5 beispielhaft dargestellt.

Nicht-invasive Erfassung von Biomasseparametern in Pflanzenbeständen mittels Spektroskopik

Spektrale Reflektionseigenschaften von Pflanzenbeständen erlauben es, verschiedene Pflanzeigenschaften berührungslos zu erfassen. Beispielsweise weisen verschiedene Pigmente wie Chlorophyll oder Carotinoide spezifische Reflektions- bzw. Absorptionsmuster im sichtbaren (VIS) Licht auf. Das enge Verhältnis

zwischen dem Gehalt an Chlorophyll und Stickstoff ermöglicht also einen indirekten Nachweis des Stickstoff-Gehaltes über die Messung des Chlorophyll-Gehaltes mit reflektionspezifischen Wellenlängen. Auch die spektralen Reflektionsmuster von Pflanzen im Nahinfrarotbereich ermöglichen die Bestimmung verschiedener Biomasseparameter, wie z.B. die Biomassemenge oder den Wassergehalt.

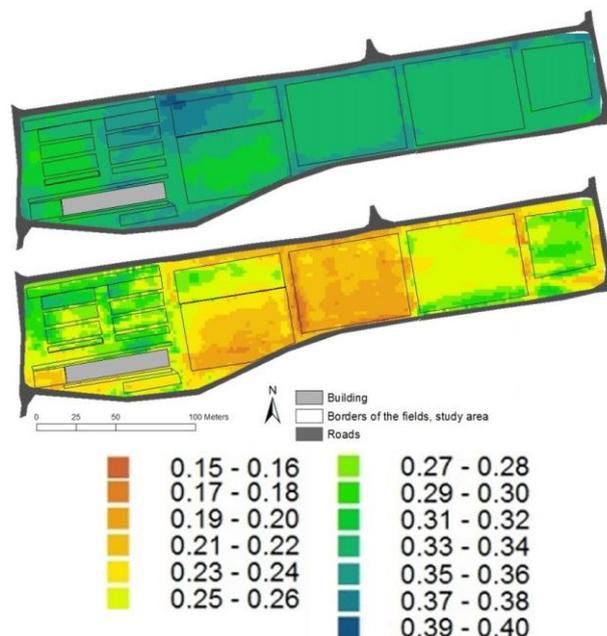


Abb. 5: Wassergehalte ($L\ L^{-1}$), 0-25 cm) im 2*2 m Raster an den Messtermin April (oben) und Mai 2011 (unten)

Verschiedene Spektrosensoren stehen für die nicht-invasive Detektion von Pflanzeigenschaften zur Verfügung. Die Funktionsweise ist generell gleich, denn es wird der Teil des Lichts einer bestimmten Lichtquelle über einen Detektor gemessen, der vom Pflanzenbestand reflektiert (oder nicht absorbiert) wird.

Grundsätzlich lässt sich zwischen aktiven und passiven Spektrosensoren unterscheiden. Passive Sensoren benutzen Sonnenlicht als Lichtquelle und decken meist das gesamte sichtbare Lichtspektrum und den Nahinfrarotbereich (bis ca. 1600 nm) ab. Dadurch lassen sich viele Informationen aus dem Reflektionspektrum extrahieren. Allerdings sind passive Spektrosensoren auf möglichst konstante Lichtbedingungen angewiesen, die in der Regel nur zur Mittagszeit (bzw. früher Nachmittag) gegeben sind. Dies schränkt den Einsatz passiver Sensoren in großen Feldver-

suchen oder Anbauflächen ein. Aktive Sensoren benutzen eine eigene Lichtquelle (meist LED) die Licht in 2-4 unterschiedlichen Wellenlängen (abhängig vom Sensortyp) emittieren. Nachteil aktiver Sensoren ist die Beschränkung auf wenige Wellenlängen und eine gewisse Sensitivität zur Messhöhe. Allerdings erlauben aktive Spektralsensoren tageszeitunabhängige Messungen. Die Wahl des Sensortyps hängt somit meist von der Versuchsfrage ab.

Am Lehrstuhl für Pflanzenernährung wurde in den letzten Jahren eine Sensorplattform entwickelt (Phenotrac 4), die mit verschiedensten Spektralsensoren ausgestattet ist und Messungen von Pflanzenbeständen oder Parzellenversuchen im Hochdurchsatz erlaubt. Zu allen Messwerten werden parallel GPS-Koordinaten über ein RTK-GPS aufgezeichnet, um anschließend eine punktgenaue Zuordnung der Spektralwerte zu ermöglichen. Verschiedene Pflanzeigenschaften wie Bodenbedeckung, N-Aufnahme, Biomasseakkumulation oder Trockenstress in Kulturen wie Mais, Weizen und Gerste, wurden mit dieser Plattform bereits nicht-invasiv bestimmt. (Kipp et al., 2014a, b, c)

Dauerfeldversuche: Simulation des mehrjährigen Ertrages auf einer Versuchsfläche mit sechs verschiedenen N-Düngern (N-Formenversuch)

In diesem Langzeitdüngungsexperiment mit N-Düngern am Standort Dürnast (Fläche 020) wurden die mehrjährigen Weizenerträge mittels EC_a und Reliefparametern simuliert. Hierbei sind die EC_a-Messungen vom April 2011 in die Berechnungen mit eingegangen. Tab. 3 zeigt die Berechnungsergebnisse getrennt nach Kontrollvarianten und gedüngten Flächen (getrennt nach niedriger und hoher N-Düngung).

Alle Ertragsniveaus waren mit EC_a sehr gut simulierbar. Die Einbeziehung des Reliefs verbesserte nochmals die Bestimmtheitsmaße der Varianten. Hier zeigt sich deutlich, dass EC_a eine signifikante Kovariable darstellt, welche die standörtliche Variabilität der Versuchsfläche abbilden kann und eine Interpretation der Düngungsergebnisse unabhängiger von den Bodenbedingungen ermöglicht.

Tab. 3: Simulation der mehrjährigen Winterweizenerträge (1980-2012) dt ha⁻¹ in auf der Versuchsfläche 020 am Standort Dürnast mittels der Prädiktoren EC_a (Werte April 2011) und Reliefparameter.

Target variable	Predictors	Adj. R ² , signific.	RMSE (dt ha ⁻¹)
Control, N=12 (independent variables: EC _a , topographic parameters)			
mean ²	channel network [m] ³ plan curvature [-]	0.96***	1.0
Control, N=12 (independent variables: EC _a)			
mean ³	EC _a (MK2-h-1.0) [mS m ⁻¹] (1/x)	0.84***	2.0
Plots with nitrogen fertilization (low level), N=42 (independent variables: EC _a , topographic parameters)			
1/mean	EC _a (MK2-h-0.5) [mS m ⁻¹] ²	0.82***	2.0
Plots with nitrogen fertilization (high level), N=42 (independent variables: EC _a , topographic parameters)			
mean ³	EC _a (MK2-h-0.5) [mS m ⁻¹] ² valley depth [m] (1/x)	0.80***	1.6

Trockenstressversuche

Mit einer Hochdurchsatz-Sensortechnologie, die eine präzise, rasche und kostengünstige Charakterisierung phänotypischer und physiologischer Merkmale in Zuchtgärten ermöglicht, soll der Trockenstresszustand für eine effiziente Evaluierung und Auslese insbesondere von Gerstenlinien der Züchtung detektiert werden.

In den Jahren 2011 und 2012 wurden dazu in den Rainout shelter Anlagen des Lehrstuhls und im Freiland 3-faktorielle Versuche (Genotyp, Boden, Bewässerung/Trockenstress) mit 16 Gerstensorten realisiert. Erster Schritt war die Messung des relativen Wassergehaltes (RWG) nachmittags an mehreren Strahlungstagen auf allen Parzellen:

$$RWG = (FM-TM)/(UM-TM)*100$$

RWG: relativer Wassergehalt

FM: Frischmasse

TM: Trockenmasse;

UM: turgeszente Masse

Im nächsten Schritt wurden mit dem Trägerfahrzeug (siehe „Nicht-invasive Erfassung von Biomasseparametern“) Messungen der Reflexion der gesamten Versuche vor Sonnen-

aufgang und am Nachmittag durchgeführt. Innerhalb des gemessenen Spektralbereichs wurden automatisiert sämtliche mögliche Kombinationen von Reflexionswerten nach der Formel für den Austrocknungsindex (DI) berechnet:

$$DI = \frac{((R1_{day} - R2_{day}) / (R1_{day} + R2_{day}))}{((R1_{night} - R2_{night}) / (R1_{night} + R2_{night}))}$$

Diese DI Indizes wurden anschließend mit den gemessenen relativen Wassergehalten in Beziehung gesetzt und die Bestimmtheitsmaße berechnet und durch Kalibrierung und Validierung die optimalen Wellenlängen für den Austrocknungsindex identifiziert: R1 = 730 nm und R2 = 457 nm. Hier korreliert DI mit dem relativen Blattwassergehalt mit dem maximalen Bestimmtheitsmaß von R²=0,53. Der Austrocknungsindex wird nur gering von der Biomasse beeinflusst. Dieser Index wurde verwendet, um die Trockenstresstoleranz der angebauten Gerstensorten zu klassifizieren. Dabei konnte eine Gruppe mit 5 Sorten (Perun, Ursa, Barke, Wiebke, Eunova) identifiziert werden, die eine signifikant geringere Austrocknung im Tagesgang als der Rest der Sorten aufwies (Rischbeck et al. 2014).

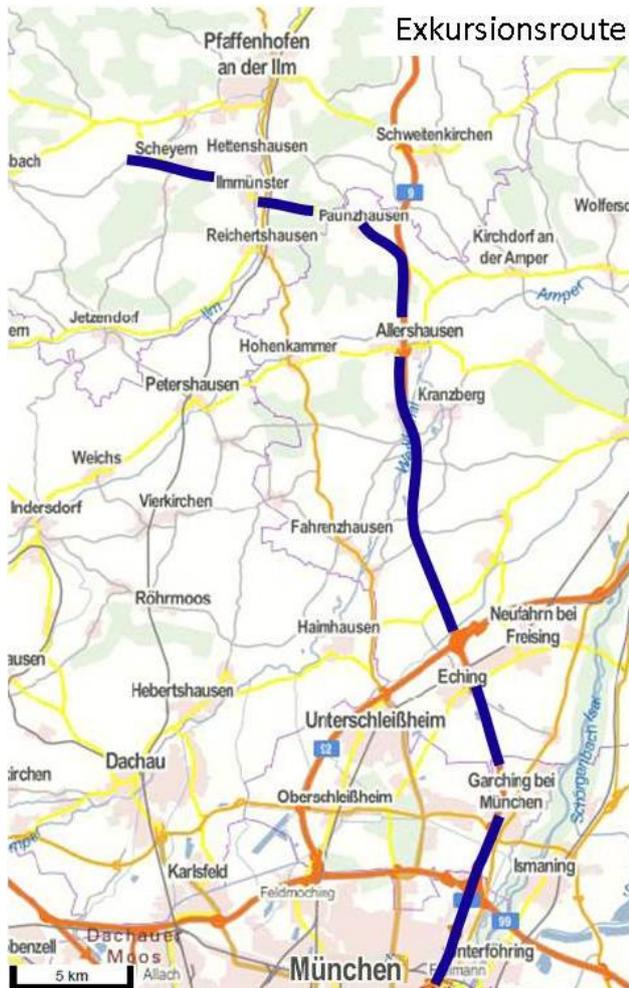
6 Literatur

- Heil K., Schmidhalter U. (2015) Comparison of the EM38 and EM38-MK2 electromagnetic induction-based sensors for spatial soil analysis at field scale *Computers and Electronics in Agriculture* 110, 264-280.
- Heil K., Schmidhalter U. (2012) Characterisation of soil texture variability using the apparent soil electrical conductivity at a highly variable site. *Computers & Geosciences* 39, 98-110.
- Kipp S., Mistele B., Schmidhalter U. (2014a) Identification of stay-green and early senescence phenotypes in high-yielding winter wheat, and their relationship to grain yield and grain protein concentration using high-throughput phenotyping techniques, *Functional Plant Biology* 41, 227-235.
- Kipp S., Mistele B., Schmidhalter U. (2014b): The performance of active spectral reflectance sensors as influenced by measuring distance, device temperature and light intensity, *Computer and Electronics in Agriculture* 100, 24-33.
- Kipp S., Mistele P., Baresel J.-P., Schmidhalter U. (2014c): High-throughput phenotyping early plant vigour of winter wheat, *European Journal of Agronomy* 52, 271-278
- Rischbeck P., Baresel J.-P., Elsayed S., Mistele B., Schmidhalter U. (2014) Development of a diurnal dehydration index for spring barley phenotyping *Functional Plant Biology* (accepted)

F-01: TERENO-Forschungsstation Scheyern: Erfassung der Klimaänderung und ihrer Wirkung auf Interaktionen zwischen Agrarökosystemen und Atmosphäre

Eckart Priesack¹

¹ Helmholtz Zentrum München, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg



Der globale Wandel führt zu Veränderungen unserer Umwelt, wie sie z.B. in der Veränderung des Klimas, der landwirtschaftlichen Produktivität, der Verfügbarkeit von Wasserressourcen, der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre und in der Veränderung von Ökosystemen zum Ausdruck kommt. Lösungen für den Umgang mit den Auswirkungen des globalen Wandels zu finden gilt als eine der wichtigsten Herausforderungen im 21. Jahrhundert.

Um Wissensgrundlagen für entsprechende

Maßnahmen beispielsweise zur Anpassung von land- oder forstwirtschaftlichen Produktionssystemen zu erarbeiten, wird von sechs Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft (DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, FZJ - Forschungszentrum Jülich, GFZ - Deutsches Geoforschungszentrum, HMGU - Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, KIT - Karlsruhe Institut für Technologie) ein interdisziplinäres und langfristiges Forschungsprogramm durchgeführt, um über Deutschland von der norddeutschen Tiefebene bis zu den bayerischen Alpen ein Netzwerk zur Erdbeobachtung einzurichten (Abb. 1; Bogena et al. 2012, Zacharias et al., 2011). Ziel des Projekts ist die Erfassung langfristiger ökologischer, sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen des globalen Wandels auf regionaler Ebene. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zeigen, wie am besten auf diese Veränderungen reagiert werden kann.

Die TERENO Forschungsstation Scheyern (Abb. 2) ist Teil des Observatoriums Bayerische Alpen/Voralpenland. Der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem Klostergut Scheyern ist die Erfassung möglicher Auswirkungen eines sich verändernden Klimas auf die Agrarökosysteme des Klosterguts. Hierzu kann auf den sehr umfangreichen Ergebnissen des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM) aufgebaut werden (Schröder et al., 2002, Osinski et al. 2005).

Seit 1992 sind auf Flächen des Klosterguts hydrologische Beobachtungssysteme und automatisierte Kammern zur Messung der N_2O -, CH_4 -, CO_2 -Konzentrationen an der Bodenoberfläche im Einsatz. Die Messsysteme

umfassen bodenhydrologische Stationen, Grundwasserstockwerksbohrungen, Grundwasserdruckmessgeräte, Stauwehre und Kanalisation, Oberflächenabfluss- und Erosionsmessgeräte sowie mehrere Parzellen zur Überwachung von Anbausystemen in Abhängigkeit der Art der Bodenbearbeitung. Zur Untersuchung von Spurengasflüssen zwischen Boden und Atmosphäre wurde die Forschungsstation für TERENO mit zusätzlichen Klimastationen, einer EC-Station mit angeschlossenen QCL-System für CO₂-, N₂O- und CH₄-Flussmessungen, einem drahtlosen Bodenfeuchte-Sensornetzwerk, und einer Lysistation ausgestattet.

Ziel der Exkursion ist es, einen Überblick zu geben über die Instrumentierung, die Messmethoden und erste Ergebnisse der Messun-

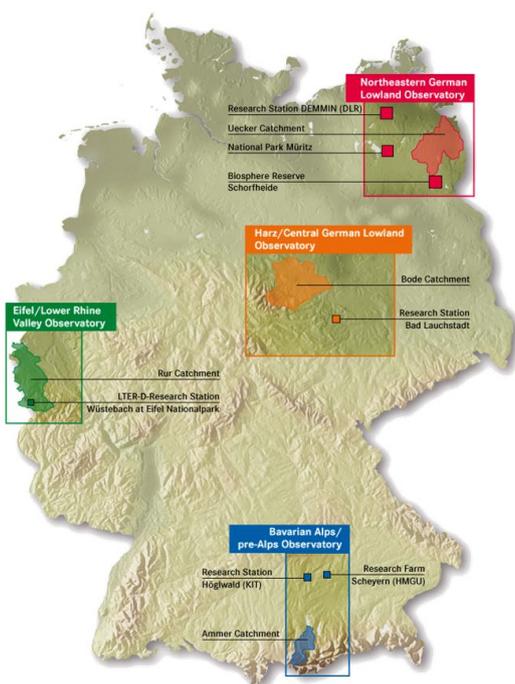
gen, die im Rahmen des TERENO Projekts in Scheyern durchgeführt werden. Ausführlich gezeigt werden die Anlagen zur Erfassung

- von Spurengasflüssen zwischen Bodenoberfläche und bodennaher Atmosphäre (Prandtl Schicht) mit der EC Station und QCL-System (vgl. Merbold et al., 2014, für einen ähnlichen Messaufbau),
- der Bodenfeuchtedynamik mit dem Bodenfeuchtenetzwerk (Bogena et al. 2012), und
- des Wasser- und Stofftransports in Bodenmonolithen, die an unterschiedlichen TERENO Standorten entnommen und entlang des bestehenden natürlichen Temperatur- und Niederschlagsgefälles über TERENO Standorte versetzt wurden (Pütz et al. 2011).

TERENO Terrestrial Environmental Observatories

TERRESTRIAL ENVIRONMENTAL OBSERVATORIES

Abb. 1: Lage der TERENO-Observatorien



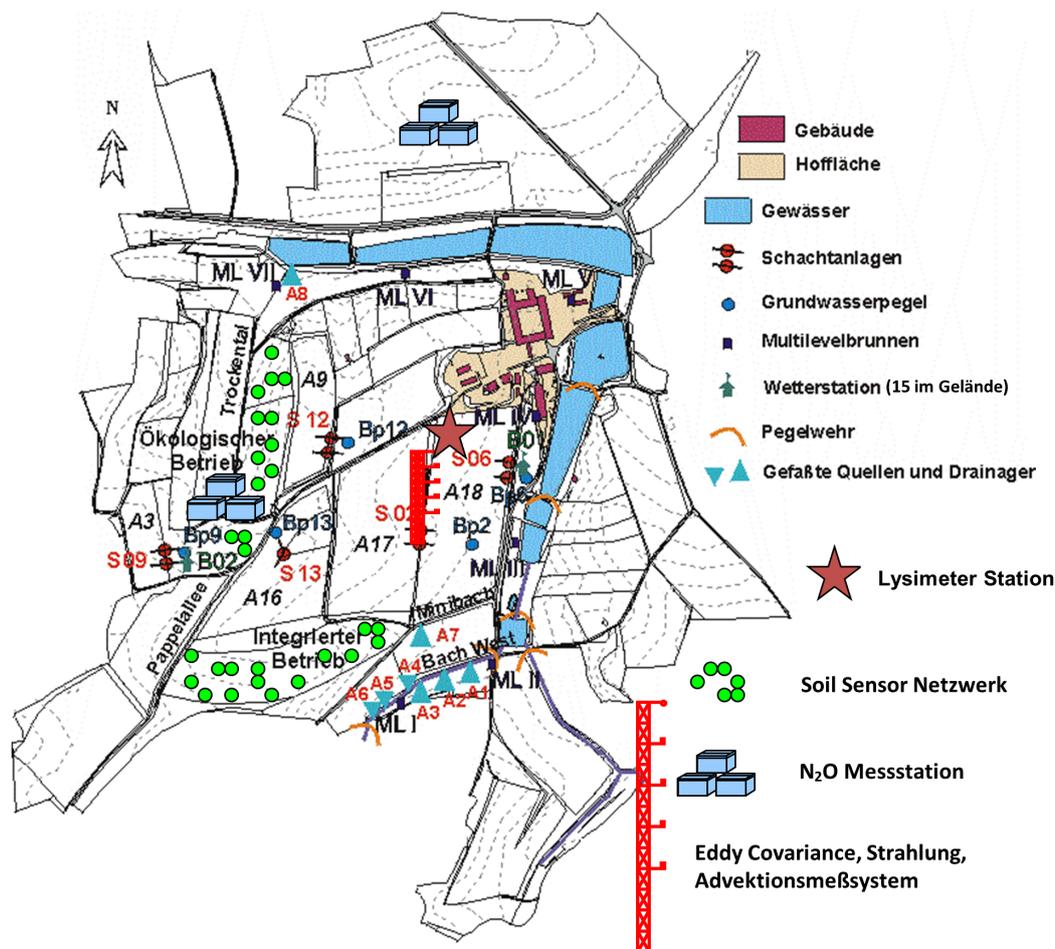
Observatorium
Nordostdeutsches
Tiefland
Koordination: GFZ

Observatorium
Harz / Mitteldeutsches
Tiefland
Koordination: UFZ

Observatorium
Eifel / Niederrheinische
Bucht
Koordination: FZJ

Observatorium
Bayerische Alpen /
Voralpenland
Koordination: KIT / HMGU

Abb. 2: TERENO-Ausstattung der Forschungsstation Scheuern



Literatur

- Bogena, H., Kunkel, R., Pütz, T., Vereecken, H., Krueger, E., Zacharias, S., Dietrich, P., Wollschlaeger, U., Kunstmann, H., Papen, H., Schmid, H.P., Munch, J.C., Priesack, E., Schwank, M., Bens, O., Brauer, A., Borg, E., Hajnsek, I. (2012): TERENO - Ein langfristiges Beobachtungsnetzwerk für die terrestrische Umweltforschung / TERENO - Long-term monitoring network for terrestrial environmental research. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 56, 3, 138-143.
- Merbold, L., Eugster, W., Stieger, J., Zahniser, M., Nelson, D., Buchmann, N. (2014): Greenhouse gas budget (CO₂, CH₄ and N₂O) of intensively managed grassland following restoration. *Global Change Biology* 20, 1913-1928.
- Osinski, E., Meyer-Aurich, A., Huber, B., Rühling, I., Gerl, G., Schröder, P. (Hrsg.): *Landwirtschaft und Umwelt – ein Spannungsfeld. Ergebnisse des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM)*, Oekom Verlag, München (2005), 1-280.
- Pütz, T., Kiese, R., Zacharias, S., Borg, E., Priesack, E., Gerke, H., Papen, H., Wollschläger, U., Schwank, M., von Unold, G., Vereecken, H. (2011): TERENO-SOILCan - Ein Lysimeter Netzwerk in Deutschland, 14. Gumpensteiner Lysimetertagung: Lysimeters in Climate Change Research and Water Resources Management, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning, ISBN13: 978-3-902559-61-6, 5-10.
- Schröder, P., Huber, B., Olazabal, U., Kämmerer, A., Munch, J.C. (2002): Land use and sustainability: FAM Research Network on Agroecosystems. *Geoderma* 105, 155-166.
- Zacharias, S., Bogena, H., Samaniego, L., Mauder, M., Fuß, R., Pütz, T., Frenzel, M., Schwank, M., Baessler, C., Butterbach-Bahl, K., Bens, O., Borg, E., Brauer, A., Dietrich, P., Hajnsek, I., Helle, G., Kiese, R., Kunstmann, H., Klotz, S., Munch, J.C., Papen, H., Priesack, E., Schmid, H.P., Steinbrecher, R., Rosenbaum, U., Teutsch, G., Vereecken, H. (2011): A network of terrestrial environmental observatories in Germany. *Vadose Zone Journal* 10, 955-973.

F-02: Landwirtschaftliche Dauerversuche auf lösslehmbedeckter Altmoräne bei Fürstenfeldbruck

Robert Brandhuber, Roswitha Walter, Robert Beck

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

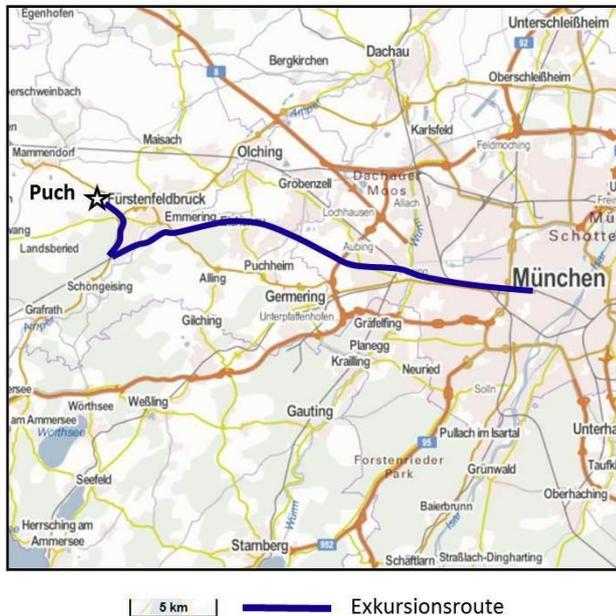


Abb. 1: Fahrtroute zur LfL-Versuchsstation Puch bei Fürstenfeldbruck

Einleitung

Die Halbtagesexkursion findet auf der LfL-Versuchsstation Puch statt, die von München aus mit der S-Bahn in ca. einer halben Stunde erreicht wird (Abb. 1). Puch ist Ortsteil von Fürstenfeldbruck. Vorgestellt werden landwirtschaftliche Dauerversuche zu Fruchtfolge und Bodenbearbeitung mit Blick auf Bodengefüge, organischen Kohlenstoff und Regenwurmvorkommen sowie ein Bodenprofil (Braunerde aus Lösslehm über Altmoräne).

Beschreibung des Exkursionsgebiets

Geologie: Aus der Münchner Schotterebene (Abb. 2: WG = Schotter, würmzeitlich) ragt bei der Ortschaft Puch (zwischen Fürstenfeldbruck und Mammendorf) die teils lösslehmbedeckte Altmoräne auf (R = Altmoräne mit Endmoränenzügen, rißzeitlich) als Zeugnis des weitest nördlichen Vorstoßes des Loisachgletschers. Weiter südlich folgen die Jungmoränengürtel (W = Jungmoräne, würmzeitlich) und

der Ammersee in einem der Zungenbecken des Isar-Loisach-Gletschers (Jerz, 1993; Bayerisches Geologisches Landesamt, 1980).

Als Beginn der Riß-Kaltzeit gilt das Ende der Holstein-Warmzeit (im Alpenvorland Mindel-Riß-Interglazial), ihr Ende ist der Beginn der Eem-Warmzeit (Riß-Würm-Interglazial), damit entspricht die Riß-Kaltzeit etwa der Saale-Kaltzeit der norddeutschen Glazialgliederung. Parallelisiert wird die Riß-Kaltzeit mit den Sauerstoff-Isotopenstufen MIS 6, 8 und 10 und wäre damit etwa zwischen 350.000 und 120.000 Jahre vor heute einzuordnen (Deutsche Stratigraphische Kommission, 2002).

Das rißzeitliche Moränenrelief wurde durch spätere periglaziale Vorgänge stark eingeebnet. Die Pucher Versuchsflächen sind entsprechend weitgehend eben.

Während des Würmhochglazials kam es im gesamten Bereich der eisfrei gebliebenen Landoberflächen außerhalb der Schmelzwassertäler zur Ablagerung äolischer Deckschichten in Form von Löss. Die Löss sind im Exkursionsgebiet zu Lösslehm und Decklehm verwittert. Diese vorwiegend periglaziale Überformung erfolgte sowohl während als auch nach der Anwehung (syn- bzw. postsedimentär). Die Pucher Altmoräne liegt an der Grenze zwischen dem mittleren (mäßig feuchten) und südlichen (feuchten) Löss-Faziesbereich. Der südliche Faziesbereich beginnt etwa an der 900 mm Jahresniederschlagslinie (Bayerisches Geologisches Landesamt 1980, 1986).

Bei einer Baugrundbohrung aus dem Jahr 1975 in der Nähe der Pucher Versuchsfelder an der B 2 wurde bis 1,80 m Tiefe Lösslehm dokumentiert, bis 4,60 m Verwitterungslehm der Altmoräne, bis 7,70 m Altmoräne und bis zur Endtiefe von 17 m Vorstoßschotter (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1980).

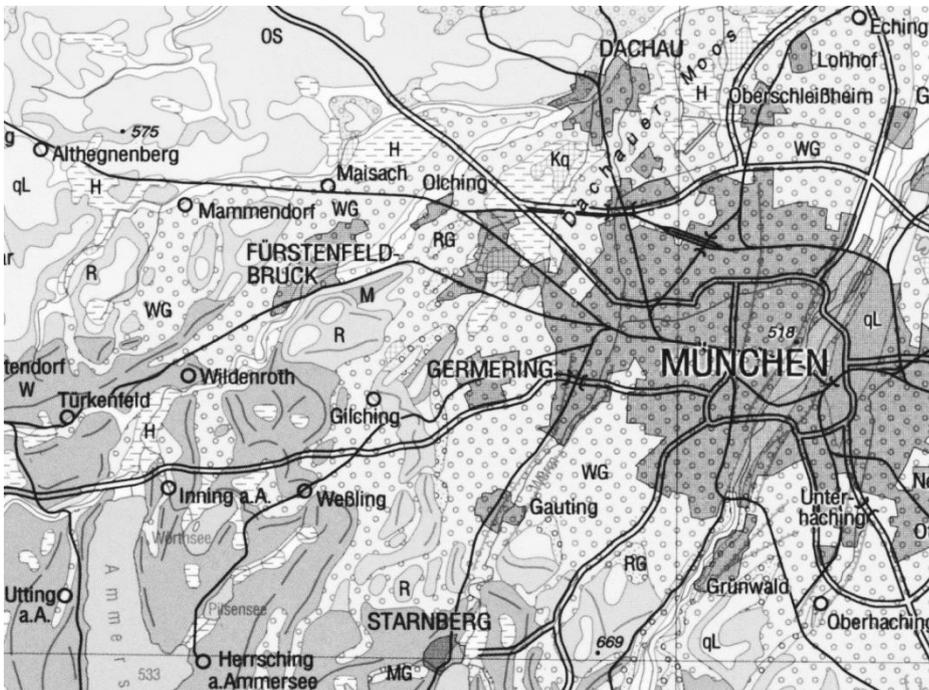


Abb. 2: Geologische Übersicht (Ausschnitt aus der GK 500; Bearbeitung: LfU)

H Niedermoor
 qL Löss, Lösslehm, Decklehm
 WG Schotter, wülmzeitlich
 W Jungmoräne, wülmzeitlich
 RG Schotter, rißzeitlich
 R Altmoräne, rißzeitlich
 OS Obere Süßwassermolasse

Böden: Die Pucher Feldversuche liegen, auf dem Luftbild (Abb. 3) gut erkennbar, südlich der Bundesstraße 2 auf ca. 550 m ü. NN.

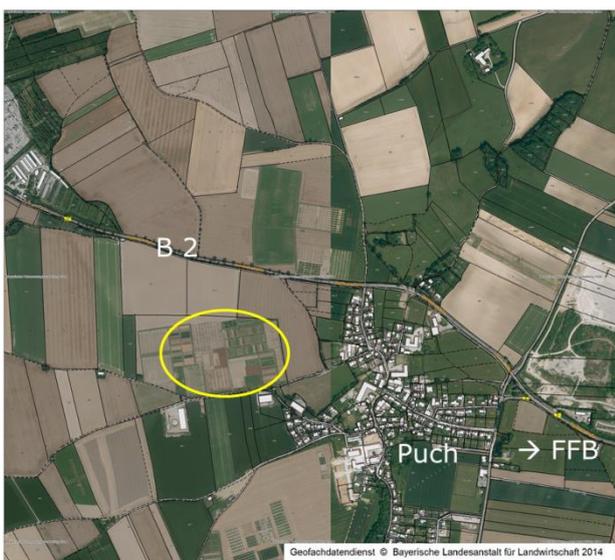


Abb. 3: Lage der Versuchsfelder (Oval)

Im Bereich der Versuchsfelder sind als bestimmender Bodentyp Braunerden aus Lösslehm ausgewiesen (Abb. 4, Bodentyp Nr. 5). Die Lösslehme lassen sich gliedern in einen jüngeren und einen älteren Lösslehm und den Decklehm (Bayerisches Geologisches Landesamt, 1980). Alle drei Ausprägungen wurden bei Bohrungen im Areal der Pucher Versuchsfelder angetroffen. Bodenausgangsmaterial sind meist Schichtprofile aus jüngerem über älterem Lösslehm. Der ältere Lösslehm („Löss-

lehmfließerde“) ist gegenüber dem jüngeren durch einen etwas höheren Ton- und niedrigeren Grobschluffanteil gekennzeichnet. Unter Decklehm ist ein vollständig entkalkter Lösslehm zu verstehen, der in seinen unteren Partien mit nichtcarbonatischen Restgeröllen und feinerkörnigem Verwitterungsmaterial aus dem Riß/Wülm-interglazialen Boden angereichert ist.

Im Klassenbescrieb der Bodenschätzung sind die Dauerversuchsflächen mit L3LöD 72/68 und L3LöD 70/66 eingestuft. Prägend für die Einstufung ist also der jüngere Lösslehm.

Klima: Die Niederschläge sind für ein Ackerbauggebiet relativ hoch, Jahre von 1.000 mm Niederschlag kommen vor (Abb. 5). Die Jahresmitteltemperatur ist moderat, der Vegetationsbeginn ist auf der windausgesetzten Hochfläche eher spät. 2014 war mit 9,8 °C das wärmste Jahr in der Zeitreihe. Für den Zeitraum 1995 – 2014 ergeben sich eine mittlere Jahresniederschlagssumme von 875 mm und eine Jahresmitteltemperatur von 8,6 °C.

Puch, LfL-Versuchsstation: Für den Ort Puch ist historisch belegt, dass dort auf dem sog. Kaiseranger der bedeutendste Wittelsbacher, Kaiser Ludwig der Bayer, am 11. Oktober 1347 bei der Bärenjagd verstarb. An der Bundesstraße erinnert ein kleiner Obelisk an den bayerischen Kaiser. Bemerkenswert ist die

1000jährige Edigna-Linde im Friedhof der Pucher Kirche.

Der landwirtschaftliche Betrieb Puch wurde 1312 als Bruderhof des Klosters Fürstenfeld erstmals erwähnt. Nach der Säkularisation des Klosters Fürstenfeld wurde der Betrieb 1816 vom Militärfiskus angekauft und dem Remontedepot Fürstenfeld als Fohlenhof zugeteilt. Nach dessen Auflösung wurde Puch dem Wittels-

bacher Ausgleichsfonds zugewiesen und als Pachtgut bewirtschaftet. Der Freistaat Bayern erwarb das Gut 1939, seit 1940 wird es als landwirtschaftliches Versuchsgut genutzt und gehört heute zur Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, einer dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unmittelbar nachgeordnete Behörde mit Aufgaben in Forschung, Hoheits- und Fördervollzug, Ausbildung und Beratung.

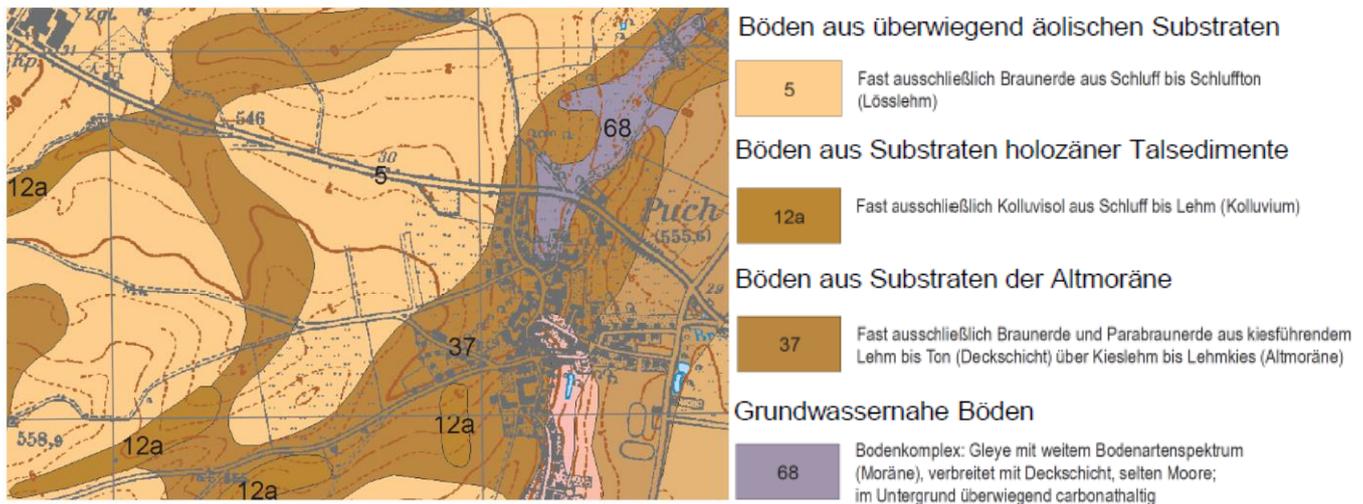


Abb. 4: Ausschnitt aus der Übersichtsbodenkarte 1:25.000 (Bearbeitung: LfU)

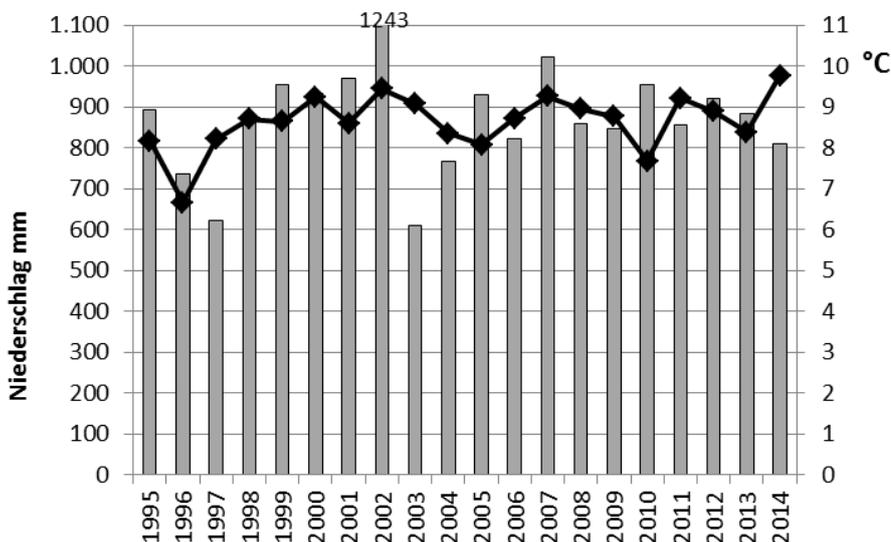


Abb. 5: Jahresniederschlags-summen (Säulen) und mittlere Jahrestemperaturen (Linie) von 1995 bis 2014 an der LfL-Wetterstation Puch bei Fürstenfeldbruck

Die Versuchsstation Puch führt produktionstechnische und pflanzenbauliche Versuche durch. Es stehen 86 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche zur Verfügung, 83 ha Acker, 3 ha Grünland. 2014 waren 24 ha als Versuchsflächen genutzt. Die Versuchstätigkeit erstreckt sich auf Dauerversuche (teils bereits in den 50er Jahren angelegt), nachwachsende Rohstoffe, Heil- und Gewürzpflanzen, Bodenbear-

beitung, Nitrataustrag, Biokohle, Sortenversuche, amtliche Mittelprüfung. Büros und Technikgebäude sind in das 2012 neu erbaute Grüne Zentrum Puch integriert (mit verschiedenen anderen landwirtschaftlichen Institutionen).

Station 1: Bodenprofil

Das auf der Exkursion präsentierte Bodenprofil wird im Frühjahr 2014 angrenzend an den Bodenbearbeitungsversuch aufgegeben, be-

schrieben und analysiert. Aus einer Profilaufgrabung im Jahr 2007 liegen Texturanalysen vor. Im Ap-Horizont (0-30 cm) betragen die Anteile der Ton-, Schluff- und Sandfraktion 17, 73 und 10 %, im Bv-Horizont (30 – 80 cm) 28,



Abb. 6: Bodengefüge in den Grundbodenbearbeitungsstufen Direktsaat, Grubber, Pflug

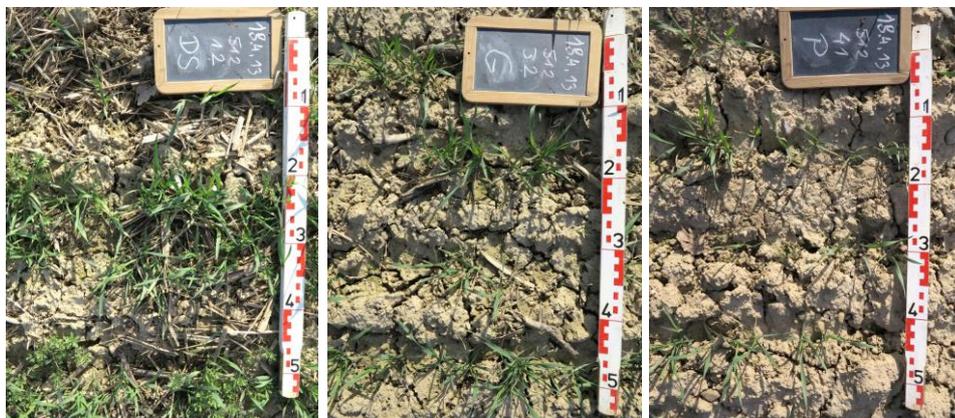


Abb. 7: Bodenbedeckung in den Grundbodenbearbeitungsstufen Direktsaat, Grubber, Pflug im März 2013 (Winterweizen).

Station 2: Dauerversuch „Bodenbearbeitung“

Beschreibung des Versuchs: Im Jahr 1992 wurde der Feldversuch „Einfluss von wendender und nicht wendender Grundbodenbearbeitung auf Ertrag und Bodeneigenschaften“ angelegt. Es handelt sich um eine zweifaktorielle Spaltanlage mit 4 Wiederholungen. Die Bodenbearbeitungsverfahren werden in 4 Stufen variiert: Direktsaat (ohne Grundbodenbearbeitung, Saat mit Zinken-Grubber-Sämaschine), Grubber (Saat mit Zinken-Grubber-Sämaschine), Grubber (Drillsaat und Kreiselegge), Pflug (jährlich wendende Grundbodenbearbeitung, Drillsaat und Kreiselegge). Ab 2014 sind die beiden Grubberstufen in mulchend extensiv (Strip-Till-Verfahren) und mulchend intensiv (wie bisher) differenziert. Der 2. Faktor betrifft eine in den Jahren 1998 bis 2005 gezielt aufgebrauchte mechanische Bodenbelastung.

Die Versuchsflächen werden nicht organisch

gedüngt. In den letzten Jahren wurden Triticale, Raps, Winterweizen, Winterweizen, Raps, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste (2014) angebaut. Zum Exkursionstermin wird Raps frisch bestellt sein.

Die Abb. 6 und 7 zeigen die charakteristische Ausprägung von Bodengefüge und Bodenbedeckung in den Grundbodenbearbeitungsstufen. In der Direktsaat lagert der Boden kompakt, nach 20 Jahren Bodenruhe ist der Ap-Horizont immer noch erkennbar. In der Grubbervariante fällt die „verlassene Krume“ in 20 bis 30 cm Tiefe ins Auge. Die derzeitige Pflugtiefe liegt bei 25 cm, so ist auch in der Pflugvariante ein schmaler Saum einer verlassenen Krume erkennbar. Am Exkursionstag werden die Böden bis 40 cm Tiefe ausgegraben und zur Gefügebeurteilung präsentiert.

Im Jahr 2013 wurden Bodenbearbeitungsstufen Direktsaat, Grubber (Drillsaat/Kreiselegge) und Pflug - jeweils ohne (historische)

Bodenbelastung - intensiver untersucht, u.a. wurden die Nährstoffverteilung und die Vorräte an organischem Kohlenstoff bis in 60 cm Tiefe bestimmt und der Regenwurmbesatz wurde festgestellt. Für die Jahre von 1994 bis 2005 liegen jährliche Untersuchungsergebnisse der Aggregatstabilität vor. Im Frühjahr 2014 werden in den Grundbodenbearbeitungsstufen Abschwemmversuche mit einem mobilen Regensimulator durchgeführt. Die Ergebnisse werden auf der Exkursion präsentiert.

Vorräte an organischem Kohlenstoff (Corg): Die Bestimmung der Corg-Vorräte erforderte die parallele Messung der Trockenrohddichte. Sie wurde bis 40 cm Tiefe jeweils in 5-cm-Schritten, bis 60 cm in 10-cm-Schritten vorgenommen. Die Tiefenfunktion der aus Corg-Gehalt und Trockenrohddichte errechneten Corg-Masse (bzw. der Corg-Vorrat) zeigt Abb. 8, die aufsummierten Corg-Vorräte zeigt Tab. 1. Die Daten sind Mittelwerte aus je 3 Bodenprofilen (Wiederholungen 1, 2, 4) je Bodenbearbeitungsstufe. Die Corg-Vorräte liegen in allen drei Bearbeitungsstufen im Bereich von 6 bis 7 kg / m² bis 50 cm Tiefe (bis 1 m Tiefe ca. 9 kg). Die deutlich höheren Corg-Vorräte in der oberen Krume der Direktsaatvariante werden durch niedrigere Werte in 10 bis 40 cm Tiefe kompensiert. Ein Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Corg-Vorräte bis 50 cm Tiefe ist statistisch nicht nachweisbar.

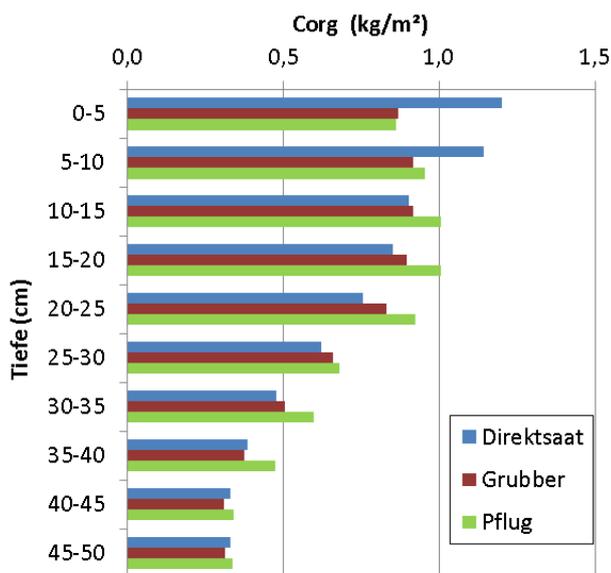


Abb. 8: Masse an Corg je 5 cm Bodenschicht in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung

Die Erkenntnis, dass das Bearbeitungssystem unter den gegebenen klimatischen Bedingungen die Gesamtvorräte an Corg im Boden kaum beeinflusst, steht im Einklang mit neueren Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen (Powlsen et. al., 2014; Schulz et al., 2014).

Tab. 1: Corg-Vorräte bis 50 cm Tiefe und Aggregatstabilität 2013 in Abhängigkeit von der Grundbodenbearbeitung

		Direktsaat	Gruubber	Pflug
C-Vorrat (kg/m ²)	Max.	7,0	7,3	7,6
	Mittel	7,0	6,6	7,1
	Min.	6,9	5,8	6,3
Stabile Aggregate (%)	Max.	60	44	31
	Mittel	50	35	24
	Min.	39	26	19

Auswirkungen der Grundbodenbearbeitung auf die Aggregatstabilität: Die mit dem Siebtauchverfahren bestimmte Aggregatstabilität (in 0-10 cm Tiefe) differenziert die Bearbeitungsvarianten sehr deutlich (Tab. 1). Direktsaat liegt doppelt so hoch wie die Pflugvariante, Grubber reiht sich dazwischen ein. Die Reduzierung der Bearbeitungstiefe und damit der Einarbeitungstiefe der Erntereste erhöht die mikrobielle Aktivität in dieser Zone und damit die Aggregatstabilität und verringert die Verschlämungsneigung.

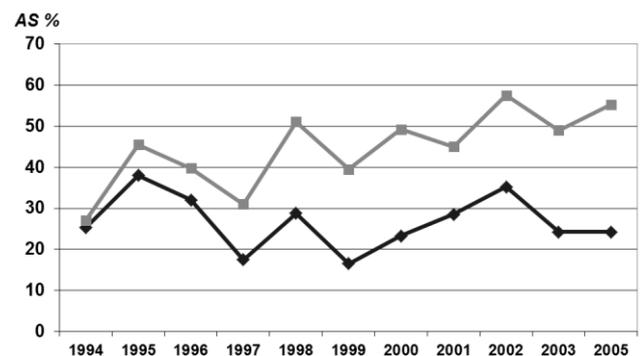


Abb. 9: Verlauf der Aggregatstabilität von 1994 bis 2005 (Frühjahr) in den Bodenbearbeitungsstufen Pflug (schwarze Linie) und Direktsaat (graue Linie)

Zu Beginn des Versuches wurde von 1994 bis 2005 jeweils im Frühjahr die Aggregatstabilität der Bearbeitungsstufen Direktsaat und Pflug untersucht. Die Ausgangswerte waren identisch. Die Werte der Direktsaat stiegen im Vergleich zur Pflugvariante zunächst kontinuierlich

an. Die Werte von 2005 entsprechen denen von 2013 (Abb. 9), sodass nach 10 Jahren von einem Gleichgewichtszustand ausgegangen werden kann. Die jährlichen Schwankungen sind typisch für den Parameter Aggregatstabilität, der auf die Bodenbedingungen vor der Probennahme (mikrobielle Aktivität, Bodentemperatur, Biomasse) reagiert.

Auswirkungen der Grundbodenbearbeitung auf Regenwürmer: Die Lebensformen der Regenwürmer reagieren unterschiedlich auf eine Bodenbearbeitung. Besonders von einer konservierenden, nicht wendenden Bodenbearbeitung und noch stärker von einer Direktsaat profitiert die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* (Tauwurm), eine Zeigerart für Bodenruhe und für ein ausreichendes Angebot an Streu- und Rottematerial an der Bodenoberfläche (Tab. 2). Die Zunahme dieser Art führte auch zu einer signifikant höheren Regenwurmbiomasse bei Direktsaat.

Station 3: Dauerversuche „Fruchtfolge“

Beschreibung der Versuche: In den 50er Jahren wurden in Puch mehrere Dauerfeldversuche zum Thema Fruchtfolge, Daueranbau und organische Düngung angelegt, die z.T. bis heute unverändert weitergeführt werden. Dazu liegen einige ältere Veröffentlichungen vor (u.a. Bachthaler et al. 1969, 1981; Diez & Bachthaler, 1978; Beck, 1975, 1984; Pommer et al., 1991; Krauss et al. 1997), zunächst überwiegend mit Blick auf Pflanzenbau und Ökonomie.

Der unersetzliche Wert der Versuchsflächen liegt heute vor allem darin, Bodeneigenschaften untersuchen und bewerten zu können, die sich im Lauf der Jahrzehnte bei unterschiedlichen, teils extremen Anbaubedingungen eingestellt haben. Alleinstellungsmerkmal hat eine Parzelle mit Schwarzbrache (seit 1953). Die Biomasseentwicklung wird auf der Fläche durch regelmäßige Bodenbearbeitung unterbunden. Ein Versuch mit Daueranbau von Körner- und Silomais wurde in den 90er Jahren leider aufgegeben.

Tab. 2: Individuendichte und Biomasse der Regenwürmer in den Bodenbearbeitungsvarianten im April 2013 (epigäische Arten: Streubewohner, endogäische Arten: flachgrabende Mineralschichtbewohner, anezische Arten: tiefgrabende Arten, Mittelwerte, n = 4 Wiederholungen)

Bearbeitung	Abundanz (Individuen/m ²)			Biomasse (g/m ²)		
	Pflug	Grubber	Direktsaat	Pflug	Grubber	Direktsaat
Juvenile Tiere						
<i>Lumbricus spec.</i>	25,6	43,4	67,6	2,9	7,4	23,5
endogäische Arten	114,0	85,5	31,5	12,4	10,3	4,4
Adulte Tiere						
epigäische Arten	7,8	9,8	7,1	3,5	5,3	4,5
endogäische Arten	39,8	56,3	30,6	12	19,1	12,1
anezische Art <i>Lumbricus terrestris</i>	1,5	3,6	14,0	4,4	11,6	41,8
Summe	188,6	198,5	150,9	35,15	53,67	86,31

Im Dauerversuch *Auswirkung von Daueranbau* stehen seit 1953 auf einer einfaktoriellen Blockanlage ohne Wiederholungen auf 280 m² großen Parzellen jedes Jahr die Ackerkulturen Weizen (Wechsel von Winter- mit Sommerweizen, mit und ohne Zwischenfrucht), Kartoffeln (ohne organische Düngung und mit Stallmist) und Zuckerrüben, außerdem Grünbrache und Schwarzbrache.

Der Dauerversuch *Verbesserte Dreifelderwirtschaft* (seit 1953, einfaktorielle Blockanlage,

keine Wiederholungen, Parzellengröße 420 m²) bildet die Fruchtfolge Winterweizen (150 dt/ha Stallmist), Hafer, Kartoffeln (300 dt/ha Stallmist), Winterweizen, Sommergerste (Kleesaat) und Rotklee ab.

Im Dauerversuch *Vergleich von Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Getreide- und Maisanteilen* werden seit 1957 Fruchtfolgen mit unterschiedlichem Anteil an Getreide, Blattfrucht, Ackerbohnen und Körnermais verglichen.

Corg-Gehalt und Infiltrationsvermögen: Die Böden der Dauerversuchspartellen werden in bestimmten Abständen untersucht, insbesondere auf den Corg-Gehalt und auf bodenphysikalische Kennwerte. Tab. 3 zeigt Ergebnisse zum Corg-Gehalt und zum Infiltrationsvermögen (Doppelringinfiltrometer) aus ausgewählten Parzellen der Pucher Dauerversuche aus dem Jahr 1995. Gegenüber der Fruchtfolge ist der Corg-Gehalt bei Schwarzbrache halbiert. Die Hackfrucht Kartoffel fällt gegenüber dem Weizen ab. Stallmistdüngung zeigt leicht positive Reaktion auf den Corg-Gehalt, bei Weizen auch die Fruchtfolge gegenüber dem Daueranbau. Die Effekte auf das Infiltrationsvermögen verlaufen parallel zum Corg-Gehalt, jedoch mit extremer Spreizung der Werte. Das sehr hohe Infiltrationsvermögen bei

Weizen in Fruchtfolge dürfte auch durch den vorausgegangenen Rotklee beeinflusst sein. Die Auswirkungen der Veränderungen der Corg-Gehalte auf Wasserhaushalt und Erosionsdisposition sind jedenfalls sehr hoch.

Den zeitlichen Verlauf der Corg-Gehalte in den ausgewählten Parzellen (Tab. 3) zeigt, dass sich nach etwa 25 bis 35 Jahren ein Gleichgewicht zwischen Bewirtschaftung und Corg-Gehalt eingestellt hat. Bei Anbau von Weizen in Daueranbau (mit Strohverbleib und Gründüngung) und in Fruchtfolge wurde in etwa das Ausgangsniveau gehalten.

Im Frühjahr 2015 werden die Böden wiederum beprobt, untersucht und die Ergebnisse zur Exkursion vorgestellt.

Tab. 3: Auswirkungen von Daueranbau, Fruchtfolge und Stallmistdüngung auf Wasserinfiltration (1995) und Corg-Gehalte in 0-10 cm Tiefe

Frucht	Fruchtfolge	Düngung	Infiltration cm/h	Corg %				
				1953	1977	1987	1995	2011
-	Schwarzbrache	-	0,6	1,35	0,81	0,83	0,75	0,80
Kartoffeln	Daueranbau	NPK	4	1,35	1,31	1,01	1,11	1,14
Kartoffeln	Daueranbau	NPK+Stallmist	14	1,35	1,06	1,03	0,97	1,02
Weizen	Daueranbau	NPK+Stroh+Zf	67	1,35			1,30	1,33
Weizen	3-Felder ^{a)}	NPK+Stallmist	146 ^{b)}		1,35 ^{c)}	1,34 ^{c)}	1,37 ^{c)}	1,33 ^{c)}

a) verb. 3-Felderwirtschaft; b) nach Rotklee; c) Mischprobe

Literatur

- Bachthaler, G., Heuser, H. (1969): Pflanzenbauliche und betriebswirtschaftliche Betrachtungen zu langjährigen Fruchtfolgeversuchen in Südbayern. Bayer. Landw. Jahrbuch 46 (2): 146-171
- Bachthaler, G., Behringer, P., Munzert, M. (1981): Einfluss von Düngung und Sorte im langjährigen Kartoffel-Daueranbau auf den Ertrag. Die Bodenkultur 32: 293-331
- Bayerisches Geologisches Landesamt (1980): Geologische Karte von Bayern 1:25.000 – Erläuterungen zum Blatt Nr. 7833 Fürstenfeldbruck. Verlag Geologisches Landesamt, München
- Bayerisches Geologisches Landesamt (1986): Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50.000, München, Augsburg und Umgebung. Verlag Bayerisches Geologisches Landesamt, München
- Beck, T. (1974): Der Einfluss langjähriger Monokultur auf die Bodenbelebung im Vergleich zur Fruchtfolge. Landwirt. Forschung 31/II. Sonderheft, 268-276
- Beck, T. (1984): Der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf bodenmikrobiologische Eigenschaften und die Stabilität der organischen Substanz in Böden. Kali-Briefe 17 (5): 331-340
- Deutsche Stratigraphische Kommission (2002): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002, http://www.stratigraphie.de/std2002/download/STD2002_large.pdf, Abruf am 09.01.2015
- Diez, T., Bachthaler, G. (1978): Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt der Böden. Bayer. Landw. Jahrbuch 3/78: 368-377
- Jerz, H. (1993): Geologie von Bayern II. Das Eiszeitalter in Bayern. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Kraus, M., Pommer, G., Beck, R., Brandhuber, R., Capriel, C. (1997): Dauerversuche mit Fruchtfolgen und Düngung am Staatsgut Puch, Oberbayern, Auswirkungen auf Bodenmerkmale. Arch. Acker-Pfl. Boden 42: 93-199
- Pommer, G., Borchert, H., Beck, T. (1991): Einflüsse unterschiedlicher Anteile an Silo- und Körnermais in der Fruchtfolge auf Merkmale der Bodenfrucht-

barkeit und den Ertrag. Kali-Briefe 20 (7/8): 669-678

Powlson, D. Stirling, C., Jat, M., Gerad, B., Palm, C., Sanchez, P., Cassmann, K. (2014): Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Climate Change* 4: 678–683

Schulz, F., Brock, C., Schmidt, H., Franz, K.-P., Leithold, G. (2014): Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60: 313-326

G-01: Boden- und Pflanzensensorik sowie Trockenstressversuche auf Ackerflächen im Tertiärhügelland nördlich von München

Kurt Heil, Pablo Rischbeck, Sebastian Kipp, Sabine von Tucher, Urs Schmidhalter
Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, 85350 Freising

Exkursionsbeschreibung siehe Kapitel E-02